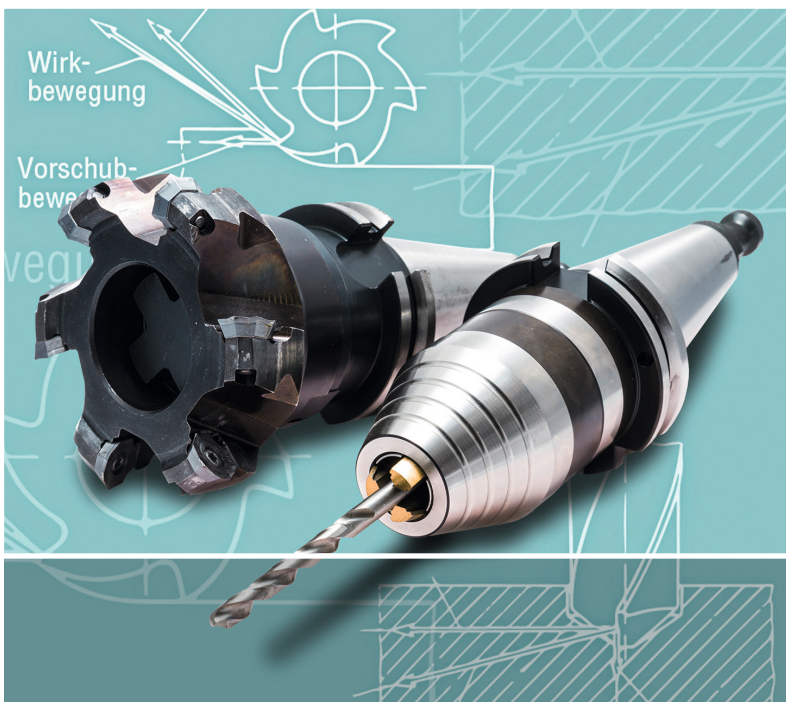


Werner Degner · Hans Lutze · Erhard Smejkal  
Uwe Heisel · Johannes Rothmund

# Spanende Formung

Theorie – Berechnung – Richtwerte



18., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Degner / Lutze / Smejkal / Heisel / Rothmund

## **Spanende Formung**



### **Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**



Werner Degner

Hans Lutze

Erhard Smejkal

Uwe Heisel

Johannes Rothmund

# Spanende Formung

Theorie - Berechnung - Richtwerte

18., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

## Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Degner (†), Chemnitz  
Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Lutze, Geyer  
Dr.-Ing. Erhard Smejkal, Chemnitz  
Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. mult. Dr. h. c. mult. Uwe Heisel, Stuttgart  
Dr.-Ing. Johannes Rothmund, Stuttgart



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en), Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en), Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2019 Carl Hanser Verlag München

Internet: [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: Anne Kurth

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelbild: © shutterstock.com/Monstar Studio

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Satz: Satzherstellung Dr. Naake, Brand-Erbisdorf

Druck und Bindung: Hubert & Co. GmbH & Co. KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-45032-5

E-Book-ISBN 978-3-446-46063-8

# Vorwort

Das vorliegende Buch der „Spanenden Formung“, welches in über 50 Jahren unter der Herausgeberschaft von Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Degner, Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Lutze und Dr.-Ing. Erhard Smejkal als ein wichtiges Standardwerk der deutschsprachigen fertigungstechnischen Fachliteratur bekannt geworden ist, erscheint nun in der 18. Auflage mit zusätzlichen Herausgebern und Autoren.

Die Herausgeber der vorangegangenen Auflagen waren angesichts der bisher verbreiteten Exemplare nach ihren eigenen Worten der Auffassung, dass „die gewählte Dreiteilung des Kompendiums in Theorie – Berechnung – Richtwerte bei den Lesern sehr gut angenommen wurde und sich ausgezeichnet bewährt hat. Die kurzgefasste Theorie legt dabei keinen Wert auf eine neue Zerspanungslehre, sie soll die wichtigsten theoretischen Zusammenhänge des Spanens, aufgebaut auf dem neuesten Stand der durch die nationalen und internationalen Normen (DIN, EN und ISO) sowie VDI-Richtlinien belegten Grundlagen und Begriffe, darstellen. Gleichzeitig bildet sie die Basis für den zweiten Teil, die Berechnungsgrundlagen für die wichtigsten spanenden Verfahren. Hier steht neben der Hauptzeitberechnung generell die Schnittkraft- und Leistungsberechnung im Mittelpunkt. Für alle behandelten Verfahren erfolgt die Schnittkraftberechnung nach der bewährten KIENZLESchen Grundgleichung.“

Auch diese Auflage hat vor allem textlich eine gründliche Überarbeitung erfahren. Die Reihenfolge der behandelten Fertigungsverfahren des Berechnungsteils und in den Schnittwerttabellen wurde jedoch entsprechend der in der modernen Lehre heute üblicherweise verbreiteten DIN 8589 umgestellt und aktualisiert. Zusätzlich ist das Thema Simulation aufgegriffen und sowohl in der Theorie, als auch in der Berechnung von Dr.-Ing. Rocco Eisseler als Autor behandelt worden. Auch wurde der Abschnitt über die Schneidstoffe im Kapitel Theorie von Dr.-Ing. Immo Garrn mit Blick auf die industrielle Praxis komplett neu verfasst und auf einen zeitgemäßen Stand gebracht.

Das Buch „Spanende Formung“ stellt somit – auch in Zeiten, in denen längst eine Reihe von Berechnungsprogrammen am Markt verfügbar sind – ein für die fertigungstechnische Fachwelt wertvolles Lehr-, Arbeits- und Nachschlagewerk dar, das zum Grundverständnis der zerspanungstechnischen Zusammenhänge anschaulich beitragen und mit den sonst nicht in dieser kompakten Form verfügbaren Richtwerttabellen praxisbezogene Anhaltspunkte geben will.

Die Herausgeber und Autoren danken insbesondere dem Carl Hanser Verlag, dass er auch diese Auflage des Buches in hervorragender Qualität herausgebracht hat. Besonders in den Dank

einschließen möchten wir unsere Lektorin, Frau Natalia Silakova, und die Lektoratsassistentin, Frau Christina Kubiak, die uns bestens unterstützt haben.

Chemnitz und Stuttgart, April 2019

*Uwe Heisel  
Hans Lutze  
Erhard Smejkal  
Johannes Rothmund*

# Geleitwort zur 18. Auflage

Die Basis für den Erfolg in der Fertigung tätiger Personen ist mehr denn je eine fundierte Ausbildung mit einem Mix aus theoretischen und praktischen Anteilen. Nur so können sie den tagtäglichen Anforderungen der technischen Praxis gerecht werden und zugleich technische Weiterentwicklungen bewerten oder selbst Neuentwicklungen anstoßen. Die Nutzung der heute verfügbaren digitalen Technologien bis hin zu auf künstlicher Intelligenz beruhender Prozessoptimierung werden dies nur in sehr beschränktem Umfang leisten können. Daher bleibt die systematische Vermittlung von auf Mechanismen aufbauendem fertigungstechnischem Grundwissen von essenzieller Bedeutung für den Erfolg der Wirtschaft.

Dieses Buch vermittelt dieses Wissen in vorbildlicher Weise, indem es neben der systematischen, an den relevanten Normen orientierten Vermittlung von Grundwissen auch die praktische Anwendung einbezieht. Damit können sich Studierende die Verfahren und Wirkzusammenhänge basierend auf etablierten Theorien und Modellen erarbeiten und finden Ansätze zur Auslegung von Prozessen. Tabellen mit Richtwerten aus der Praxis erlauben es in der Praxis stehenden Ingenieuren, Technikern und Meistern Lösungen für die Arbeiten in der Arbeitsvorbereitung zu finden und sich fundiert und praxisorientiert in neue Verfahren hineinzufinden. Diese Verbindung von Theorie und Praxis ist auch ein wesentliches Anliegen des Vereins Zukunftsorientierte Zerspanung e. V., den die Stuttgarter und Karlsruher Fertigungstechniker gemeinsam mit interessierten Firmenpartnern seit einigen Jahren mitgestalten.

Ergänzend finden sich in dem Buch Hinweise zur Verknüpfung rein technologischer Ansätze mit solchen aus der Betriebswirtschaft, was eine wichtige Bereicherung darstellt und für alle vorgesehenen Lesergruppen von wachsender Bedeutung ist.

Ich wünsche dem Buch erneut eine weite Verbreitung und den Lesern eine bereichernde Lektüre und eine nutzbringende Bereicherung ihres Wissens.

Karlsruhe, im Februar 2019

Prof. Dr.-Ing. habil. *Volker Schulze*  
wbk Institut für Produktionstechnik  
Karlsruher Institut für Technologie



# Geleitwort zur 18. Auflage

Die Produktionstechnik ist von den Technologien der Metallzerspanung stark geprägt. Zerspanungsprozesse sind zumeist maßgeblich für die Produktivität der Bauteilherstellung sowie für die Qualität und Integrität der erzeugten Komponenten. Sie sind daher auch ausschlaggebend für die Gestaltung und Auslegung der Maschinen- und Anlagentechnik für die industrielle Produktion. Die Kenntnis der Zerspanprozesse, deren wissenschaftliche Grundlagen und praktische Umsetzung sind daher von zentraler Bedeutung für eine wirtschaftliche Fertigung, die modernen Bedarfen gerecht wird. Gestiegene Anforderungen an die Genauigkeit, Oberflächengüte und Randzonenintegrität sowie die stete Forderung nach höherer Produktionsleistung, Prozesssicherheit und Kosteneffizienz charakterisieren diese Bedarfssituation. Gleichzeitig tritt außerdem die Notwendigkeit einer deutlich erhöhten Material-, Energie- und Ressourceneinsparung verstärkt in den Fokus der Betrachtungen. Den technologischen, wirtschaftlichen und ökologischen Herausforderungen kann zukünftig nur mit einer fundierten Fachkompetenz erfolgreich begegnet werden.

Die „Spanende Formung“ nimmt als Lehr- und Nachschlagewerk seit vielen Jahrzehnten eine führende Stellung für Ausbildung, Studium und Praxis ein. Dieses Buch behandelt sowohl die theoretischen Grundlagen des Zerspanungsprozesses, der Schneidstoffe und der Berechnung von Kräften und Leistungen, als auch die Simulationsmodelle, die heute verstärkt in die Anwendung rücken. Beispiele für die konkrete Berechnung der wesentlichen Zerspanungsprozesse runden den theoretischen Teil ab. Einen besonderen Wert stellt die Sammlung von Richtwerten dar, die für die Praktiker eine wesentliche Hilfestellung bei der Bestimmung von Prozessparametern sind.

Diesem Buch kann man daher nur wünschen, dass es so viel Anerkennung und Beachtung findet, wie in der Vergangenheit und auch darüber hinaus.

Stuttgart, Mai 2019

Prof. Dr.-Ing. *Hans-Christian Möhring*  
Institut für Werkzeugmaschinen  
Universität Stuttgart

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	15
<b>1 Theorie der spanenden Formung</b> .....	17
<b>1.1 Begriffe der spanenden Formung</b> .....	17
1.1.0 Grundlagen .....	17
1.1.1 Kinematik und Geometrie des Spanungsvorgangs .....	19
1.1.1.1 Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück .....	20
1.1.1.2 Richtungen der Bewegungen (Bewegungsrichtungen) .....	21
1.1.1.3 Wege des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück .....	22
1.1.1.4 Geschwindigkeiten .....	22
1.1.1.5 Komponenten der Bewegungen, Richtungen, Wege und Geschwindigkeiten .....	23
1.1.1.6 Hilfsbegriffe .....	23
1.1.1.7 Flächen am Werkstück .....	25
1.1.1.8 Vorschubgrößen .....	25
1.1.1.9 Eingriffsgrößen .....	26
1.1.1.10 Spanungsgrößen .....	28
1.1.2 Geometrie am Schneidteil spanender Werkzeuge .....	31
1.1.2.1 Allgemeine Begriffe .....	32
1.1.2.2 Flächen, Schneiden, Ecken und Rundungen .....	33
1.1.2.3 Werkzeug-Bezugssystem und Werkzeugwinkel .....	34
1.1.2.4 Wirk-Bezugssystem und Wirkwinkel .....	37
1.1.3 Kräfte, Energie, Arbeit und Leistungen .....	39
1.1.3.1 Kräfte beim Spanen .....	39
1.1.3.2 Energie und Arbeit beim Spanen .....	42
1.1.3.3 Leistungen beim Spanen .....	43
1.1.4 Standbegriffe und Werkzeugverschleiß .....	44
1.1.4.1 Standbegriffe .....	44
1.1.4.2 Werkzeugverschleiß .....	46
<b>1.2 Vorgänge bei der Spanbildung</b> .....	48
1.2.1 Mechanik der Spanbildung .....	48
1.2.1.1 Ansätze zur Modellierung der Spanbildung .....	48
1.2.1.2 Geschwindigkeitsverhältnisse .....	54
1.2.1.3 Kräfteverhältnisse .....	55
1.2.2 Spanarten und Spanformen .....	57
1.2.2.1 Spanarten .....	57

1.2.2.2	Spanformen	60
1.2.3	Auswirkungen des Spanbildungsprozesses	63
<b>1.3</b>	<b>Schneidstoffe und ihre Anwendung</b>	<b>63</b>
1.3.0	Allgemeine Betrachtungen	63
1.3.1	Werkzeugstähle, unlegiert und legiert	68
1.3.2	Schnellarbeitsstähle	69
1.3.3	Gegossene Hartlegierungen	72
1.3.4	Sinterhartmetalle	72
1.3.5	Schneidkeramik	75
1.3.5.1	Eigenschaften	75
1.3.5.2	Anwendung und Einsatz	76
1.3.6	Superharte Schneidstoffe (Diamant, Bornitrid)	77
1.3.7	Oberflächenbehandelte Schneidstoffe	80
1.3.8	Schneidstoffauswahl in der Werkzeugauslegung	82
1.3.9	Schleifmittel	83
<b>1.4</b>	<b>Temperatur, Verschleiß und Standzeit</b>	<b>85</b>
1.4.1	Spannungstemperatur	85
1.4.2	Verschleißursachen	87
1.4.3	Verschleißarten	89
1.4.4	Auswirkungen des Verschleißes	90
1.4.5	Verschleißkriterien	90
1.4.6	Standzeit	91
1.4.6.1	Definition des Standzeitbegriffs	91
1.4.6.2	Standzeitdiagramm und Einflussgrößen auf die Standzeit	91
1.4.6.3	Standzeitgleichung	95
<b>1.5</b>	<b>Schnittkraft und Leistung</b>	<b>97</b>
1.5.1	Zerspankraft und ihre Komponenten	97
1.5.2	Schnittkraft und spezifische Schnittkraft	97
1.5.3	Einflussgrößen auf Schnittkraft und spezifische Schnittkraft	98
1.5.4	Berechnung der Schnittkraft	103
1.5.5	Vorschub- und Passivkraft	107
1.5.5.1	Einflussgrößen	107
1.5.5.2	Berechnung der Vorschub- und Passivkraft	107
1.5.5.3	Berechnung der Schnittkraft im Gebiet der spanenden Feinbearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide	109
1.5.6	Leistung	112
1.5.7	Zeitspannungsvolumen und spezifisches Spannungsvolumen	113
1.5.8	Maschinenauslastung	114
1.5.9	Energieaufwand	116
1.5.10	Schnittwertoptimierung	120
<b>1.6</b>	<b>Simulation von Zerspanungsvorgängen</b>	<b>121</b>
1.6.1	Einführung	121
1.6.2	Finite-Elemente-Methode (FEM)	122

---

1.6.3	Molekulardynamische Modellierung	124
1.6.4	Materialmodelle	125
1.6.5	Reibungsmodelle	127
1.6.6	Schädigungsmodelle	128
<b>1.7</b>	<b>Oberflächenqualität</b>	<b>129</b>
1.7.1	Oberflächengestalt	129
1.7.2	Oberflächenbeschaffenheit	134
1.7.3	Oberflächenverhalten	137
<b>1.8</b>	<b>Spanbarkeit und Spanbarkeitsprüfung von Stahlwerkstoffen</b>	<b>138</b>
<b>1.9</b>	<b>Kühlschmierstoffe</b>	<b>143</b>
1.9.1	Eigenschaften und Anwendung	143
1.9.2	Auswirkungen der Kühlschmierstoffe auf Standzeit, Oberflächenqualität und Schnittkräfte	146
1.9.3	Auswahl von Kühlschmierstoffen	147
1.9.4	Trockenbearbeitung	148
1.9.5	Vor- und Nachteile der Nass- und Trockenbearbeitung sowie der Minimalmengenschmierung	150
1.9.6	Darstellung der Möglichkeiten der Trockenbearbeitung	154
<b>1.10</b>	<b>Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC – High-speed-cutting)</b>	<b>158</b>
1.10.1	Grundsätzliches zur HSC	158
1.10.2	Praktische Realisierung der HSC	159
<b>2</b>	<b>Berechnung</b>	<b>167</b>
<b>2.1</b>	<b>Drehen</b>	<b>167</b>
2.1.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	167
2.1.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	167
2.1.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	168
2.1.2	Berechnung der Hauptzeit	169
2.1.2.1	Langdrehen	169
2.1.2.2	Gewindedrehen	170
2.1.2.3	Kegeldrehen	171
2.1.2.4	Plandrehen	173
2.1.2.5	Planringdrehen	175
2.1.2.6	Nachformdrehen	176
2.1.2.7	Drehen auf Automaten	179
2.1.3	Berechnungsbeispiel	180
<b>2.2</b>	<b>Bohren, Senken, Reiben</b>	<b>182</b>
2.2.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	182
2.2.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	182
2.2.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	188
2.2.2	Berechnung der Hauptzeit	190
2.2.2.1	Bohren und Aufbohren mit Spiralbohrer	190

2.2.2.2	Senken und Reiben	192
2.2.3	Berechnungsbeispiel	192
<b>2.3</b>	<b>Fräsen</b>	<b>193</b>
2.3.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	193
2.3.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	193
2.3.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	200
2.3.2	Berechnung der Hauptzeit	203
2.3.2.1	Umfangsfraesen	203
2.3.2.2	Stirnfraesen	204
2.3.2.3	Nutenfraesen auf Nutenfraesmaschinen	206
2.3.2.4	Gewindefraesen	207
2.3.3	Berechnungsbeispiele	209
2.3.3.1	Stirnfraesen	209
2.3.3.2	Umfangsfraesen	212
<b>2.4</b>	<b>Hobeln und Stoessen</b>	<b>214</b>
2.4.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	214
2.4.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	214
2.4.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	214
2.4.2	Berechnung der Hauptzeit	215
2.4.3	Berechnungsbeispiel	216
<b>2.5</b>	<b>Räumen</b>	<b>218</b>
2.5.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	218
2.5.2	Berechnung der Teilung des Räumwerkzeugs	219
2.5.2.1	Berücksichtigung der Aufnahmefähigkeit des Spanraums	219
2.5.2.2	Berücksichtigung der Zug- oder Druckkraft der Maschine	220
2.5.2.3	Berücksichtigung der Festigkeit des Räumwerkzeugs	220
2.5.2.4	Weitere Größen der Zahnung am Räumwerkzeug	221
2.5.3	Zusammenstellung der Gleichungen	223
2.5.4	Berechnung der Hauptzeit	224
2.5.5	Berechnungsbeispiel	224
<b>2.6</b>	<b>Sägen</b>	<b>228</b>
2.6.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	228
2.6.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	228
2.6.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	230
2.6.2	Berechnung der Hauptzeit	231
2.6.3	Berechnungsbeispiel	231
<b>2.7</b>	<b>Schleifen</b>	<b>232</b>
2.7.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung beim Schleifen	233
2.7.2	Berechnung der Hauptzeit	235
2.7.2.1	Rundschleifen	235
2.7.2.2	Flachschleifen	238
2.7.3	Berechnungsbeispiel	240

<b>2.8</b>	<b>Zahnradbearbeitung</b> .....	241
2.8.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung .....	241
2.8.1.1	Wälzfräsen (gerad- und schrägverzahnte Stirnräder) .....	242
2.8.1.2	Wälzstoßen (geradverzahnte Stirnräder) .....	244
2.8.1.3	Zahnflankenschleifen (geradverzahnte Stirnräder) .....	244
2.8.1.4	Berechnungsbeispiele .....	245
2.8.2	Berechnung der Hauptzeit – Verfahrensüberblick .....	246
2.8.2.1	Stirnradbearbeitung .....	247
2.8.2.2	Bearbeitung von Schneckenrieben .....	260
2.8.2.3	Kegelradbearbeitung .....	267
2.8.2.4	Berechnungsbeispiele .....	274
2.8.3	Anmerkungen zu den Verzahnungsverfahren .....	279
<b>2.9</b>	<b>Weitere Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide – Verfahrens- überblick</b> .....	280
2.9.1	Honen .....	281
2.9.1.1	Verfahrenseinführung .....	281
2.9.1.2	Genauigkeit beim Honen .....	282
2.9.1.3	Werkstück und Fertigungsergebnis .....	282
2.9.1.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis .....	283
2.9.1.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis .....	285
2.9.1.6	Wirtschaftlichkeit und Entwicklungstendenzen .....	287
2.9.2	Superfinish .....	287
2.9.2.1	Verfahrenseinführung .....	287
2.9.2.2	Genauigkeit beim Superfinish .....	288
2.9.2.3	Werkstück und Fertigungsergebnis .....	289
2.9.2.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis .....	290
2.9.2.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis .....	291
2.9.2.6	Wirtschaftlichkeit .....	293
2.9.3	Läppen .....	294
2.9.3.1	Verfahrenseinführung .....	294
2.9.3.2	Genauigkeit beim Läppen .....	298
2.9.3.3	Verfahren und Werkzeugmaschinen .....	299
2.9.3.4	Entwicklungstendenzen .....	305
<b>3</b>	<b>Richtwerte</b> .....	306
3.1	Spezifische Schnittkräfte, Korrektur- und Verfahrensfaktoren (Tabellen 3.1 und 3.2) .....	306
3.2	Drehen (Tabellen 3.3 bis 3.19) .....	310
3.3	Hobeln und Stoßen (Tabellen 3.20 und 3.21) .....	327
3.4	Fräsen (Tabellen 3.22 bis 3.45) .....	328
3.5	Bohren, Senken, Reiben (Tabellen 3.46 bis 3.63) .....	344
3.6	Sägen (Tabellen 3.64 und 3.65) .....	354

---

<b>3.7</b>	<b>Räumen (Tabellen 3.66 bis 3.68)</b> .....	355
<b>3.8</b>	<b>Schleifen (Tabellen 3.69 bis 3.76)</b> .....	356
<b>3.9</b>	<b>Zahnradbearbeitung (Tabellen 3.77 bis 3.87)</b> .....	361
<b>3.10</b>	<b>Bearbeitung von Sonderwerkstoffen</b> .....	366
3.10.1	Spanende Bearbeitung von Kunststoffen (Tabellen 3.88 bis 3.96) .....	366
3.10.2	Spanende Bearbeitung von hoch legierten Stählen (Tabellen 3.97 bis 3.109) .....	375
3.10.3	Spanen von Titan und Titanlegierungen (Tabellen 3.110 bis 3.112) .....	381
3.10.4	Spanen von partikelverstärktem Aluminium .....	384
<b>3.11</b>	<b>Werkstoffe</b> .....	385
3.11.1	Werkstoffgruppen (Tabellen 3.113 und 3.114) .....	385
3.11.2	Gegenüberstellung von alter (DIN) und neuer (Euro-Norm) Werkstoffbezeichnung .....	388
<b>3.12</b>	<b>Schneidstoffe</b> .....	392
3.12.1	Schnellarbeitsstahl (Tabellen 3.116 bis 3.118) .....	392
3.12.2	Hartmetall (Tabellen 3.119 und 3.121) .....	394
<b>Literaturverzeichnis</b> .....		396
Weiterführende Literatur .....		408
Normen und Richtlinien .....		410
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....		423

# Einleitung

Im ersten Teil des Buches, der Theorie der spanenden Formung, wird aufbauend auf den genormten Grundbegriffen ausführlich auf Kinematik und Geometrie des Spannungsvorganges, Werkzeuggeometrie, Kraftkomponenten etc. eingegangen. Generell sind im Buch die aktuellen Normen (DIN, EN und ISO) und VDI-Richtlinien berücksichtigt. Die Vorgänge bei der Spanbildung werden nach der anerkannten plastizitätsmechanischen Theorie abgehandelt. Im Weiteren werden die zwei wichtigsten Themenkomplexe Verschleiß und Standzeit sowie Schnittkraft und Leistung mehr aus praktischer Sicht behandelt. Die zu diesem Komplex gehörenden Schneidstoffe wurden ebenso wie die Verschleißproblematik überarbeitet und auf den neuesten Stand gebracht. Das gilt auch für die Kühlschmierstoffe. Die Theorie wird abgeschlossen mit den Abschnitten Nass- und Trockenbearbeitung sowie Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. Beide Abschnitte sind sehr aktuell und zukunftsorientiert. Leider musste aus Platzgründen der bisherige Abschnitt zur Entwicklung der Spannungsforschung entfallen. Interessierte Leser können diesen Abschnitt in den Büchern bis zur 14. Auflage und unter [164] nachlesen.

Im zweiten Teil werden die Berechnungen abgeleitet. Für alle wichtigen Verfahren der spanenden Formung erfolgt hier in konzentrierter Form die Berechnung von Schnittkraft, Leistung und Hauptzeit. Auf komplizierte Schnittgeschwindigkeits- und Standzeitberechnungen wird verzichtet, da die im Teil 3 vorhandenen Richtwerttabellen für die praktische Anwendung eine genügende Genauigkeit aufweisen. Für Drehen und Fräsen werden die Exponenten der Standzeitgleichung angegeben, um eine Weiterverarbeitung mittels Rechner zu ermöglichen. Hinsichtlich der Schnittkraftberechnung erfolgt die Orientierung bei allen Verfahren – außer Verzahnung – auf die im Abschnitt 1.5.4 behandelte Grundgleichung von KIENZLE [1]. Hierfür ist besonders die Bestimmung der Spannungsdicke  $h$  maßgebend, weil die spezifische Schnittkraft außer vom zu spanenden Werkstoff vor allem von der Spannungsdicke abhängig ist. Dieser Rechengang kann vor allem deshalb als das zweckmäßigste Berechnungsverfahren angesehen werden, weil sich die von KIENZLE und VICTOR [2] ermittelten  $k_c$ -Richtwerte nicht nur für Drehen – wofür sie ursprünglich ermittelt wurden –, sondern auch für alle anderen spanenden Verfahren anwenden lassen, wenn man die Eigenheiten dieser Verfahren durch die Verfahrensfaktoren berücksichtigt. Bei den wichtigsten Feinbearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide stehen wegen der besonderen Spezifik dieser Verfahren die Verfahrensbeschreibungen im Vordergrund, weniger die Berechnungen. Beim Abschnitt Verzahnverfahren wurde die Hauptzeitberechnung durch eine angemessen umfangreiche Verfahrensbeschreibung ergänzt.

Der dritte Teil enthält die Richtwerte für die im ersten und zweiten Teil abgehandelten Verfahren. Tabelle 3.1 bringt Richtwerte für die spezifischen Schnittkräfte der spanenden Formung. Dazu sind unbedingt die Erläuterungen zu beachten, weil die spezifischen Schnittkräfte bei Drehversuchen ermittelt wurden und daher eigentlich nur für die bei diesen Versuchen vorge-



legenden Spannungsbedingungen gelten. Sie sind aber bei Beachtung entsprechender Korrektur- und Verfahrensfaktoren, die bei der Schnittkraftberechnung der jeweiligen Verfahren behandelt werden, auch für Bohren, Senken und Reiben, Fräsen, Hobeln, Stoßen und Räumen, Sägen sowie für das Schleifen anwendbar.

In diesem Kapitel werden teilweise TGL-Standards angeführt, die für verschiedene Bearbeitungsoperationen (Drehen, Hobeln/Stoßen, Fräsen, Bohren, Wälzfräsen und Gewindebohren) Zerspanungsrichtwerte und Bearbeitungszugaben (Schleifen) in komprimierter, handlicher und bewährter Form enthielten. Diese Normen, die in der ehemaligen DDR als staatliche Standards verbindlich anzuwenden waren, stammen aus der Entstehungsgeschichte dieses Werks unter der Herausgeberschaft von W. Degner, H. Lutze und E. Smejkal als einem der wesentlichsten Zerspanungslehrbücher der damaligen DDR. Sie haben für die entsprechenden Werkzeug- und Werkstück-Werkstoffe aber bis heute nichts an Aktualität verloren.

Die Richtwertsammlung enthält für eine umfangreiche Verfahrens- und Werkstoffpalette die in der betrieblichen Praxis benötigten Angaben zu Schnittdaten, Schneidstoffauswahl und Schneidengeometrie. Die Bearbeitung von schwer spanbaren Werkstoffen, wie Titan und Titanlegierungen, sind hierin enthalten sowie ein umfangreicher Tabellenteil mit neuen und alten Werkstoffbezeichnungen.

Es wird häufig auf die Unzulänglichkeiten, die teilweise großen Streuungen und die Kurzlebigkeit von Richtwerten aufgrund der ständig weiterentwickelten Schneidstoffe und Werkstoffe hingewiesen. Vor dem Hintergrund der Bemühungen von Fachleuten, Maschinen- und Werkzeugherstellern sowie von Fachgremien möglichst vollständige anwendungsbereite und sichere Richtwertsammlungen zu erarbeiten, erscheint es trotz aller Schwierigkeiten als ein praktikabler Weg, Richtwerte als Werte zur Orientierung anzugeben.

Betrachtet man die Einflussgrößen auf den Spannungsvorgang und somit auch auf die Richtwerte

- Werkzeugmaschine und Bearbeitungsverfahren (Starrheit und Schwingungsverhalten, Spannelemente, Betriebszustand)
- Werkstück (Werkstoff, Festigkeit, Gefüge, Homogenität, Abmessungen, Gestalt, Stabilität, Vorbearbeitung)
- Werkzeug (Schneidstoff, Form und Abmessungen, Anschliff und Winkel, Starrheit, Verschleiß)
- Schnittbedingungen (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schnitttiefe, Kühlung und Schmierung),

so ist es einleuchtend, dass Richtwerte stets eine gewisse Streubreite aufweisen. Es ist aber sinnvoll, der Person in der Praxis gerade wegen der Unsicherheit der Richtwerte auch Angaben und Hinweise zu vermitteln, damit für jede spezielle Bearbeitungsaufgabe die zweckmäßigsten Parameter erprobt werden können. Außerdem werden für alle praktischen Berechnungen in der spanenden Formung *Richtwerte* als *Rechenwerte* in den entsprechenden Gleichungen benötigt. Auch den derzeit von zahlreichen Werkzeugherstellern angebotenen Softwaretools zur Berechnung der Schnittwerte sind neben Erfahrungs- letztendlich auch die allgemein anerkannten Richtwerte hinterlegt.

# 1 Theorie der spanenden Formung

## 1.1 Begriffe der spanenden Formung

### 1.1.0 Grundlagen

Grundanliegen dieses ersten Abschnittes ist es, Klarheit in den Begriffen der spanenden Formung zu schaffen.

KIENZLE mit seinen grundlegenden Arbeiten [3] und [4] gebührt das besondere Verdienst, dass er zunächst ein Ordnungssystem der Fertigungsverfahren geschaffen hat, aus der DIN 8580 im Wesentlichen entstand. Aus den sechs Hauptgruppen der Fertigungsverfahren (Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaftsändern) wurde die dritte Hauptgruppe Trennen weiter unterteilt in die Gruppen Zerteilen, Spanen mit geometrisch bestimmten und unbestimmten Schneiden sowie Abtragen (Bild 1.1).

Ein weiterentwickeltes Ordnungssystem, ebenfalls in der umfangreichen DIN 8589 festgelegt, unterteilt dann weiter in die einzelnen Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide (Drehen, Bohren/Senken/Reiben, Fräsen, Hobeln/Stoßen, Räumen, Sägen, Feilen/Raspeln, Bürstspanen, Schaben/Meißeln) und mit geometrisch unbestimmter Schneide (Schleifen, Bandschleifen, Hubschleifen, Honen, Läppen, Strahlspanen, Gleitspanen). Generell versteht man nach DIN 8589 unter Spanen einen Trennvorgang, bei dem ein Werkstück mithilfe der Schneiden eines Werkzeugs (mit geometrisch bestimmten oder geometrisch unbestimmten Schneiden) Werkstoffschichten in Form von Spänen zu einer Änderung der Werkstückform (meist vorgefertigt durch Ur- oder Umformen) und/oder der Werkstückoberfläche mechanisch abgetrennt werden.

Aufgrund der sehr weiten Verbreitung und Anwendung des Spanens und damit insgesamt der spanenden Verfahren bestand für Forschung, Praxis und Lehre aber auch die Notwendigkeit einer korrekten und konkreten Definition der Begriffe, speziell für die Kinematik und Geometrie des Spanungsvorgangs, die Geometrie des Schneidkeiles und weiterer physikalischer und technologischer Spannungsbegriffe.

Ältere Arbeiten beschränken sich dabei meist auf Definitionen und die Nomenklatur der Winkel, primär beim einschneidigen Werkzeug. Es wurden aber auch Versuche gemacht, diese Begriffsbestimmungen auf alle spanenden Verfahren zu übertragen [5]. Die Begriffe sind heute im Wesentlichen in den DIN 8580, 8581, 8582, 8583 und 8584 festgelegt. Der Vorteil dieser DIN ist, dass sie im hohen Maße auch auf die internationale Norm ISO 3002/1 bis 3002/5 abgestimmt sind.

Auf diese DIN wird nachfolgend näher eingegangen, da sie die Grundlagen für alle spanenden Verfahren bilden.

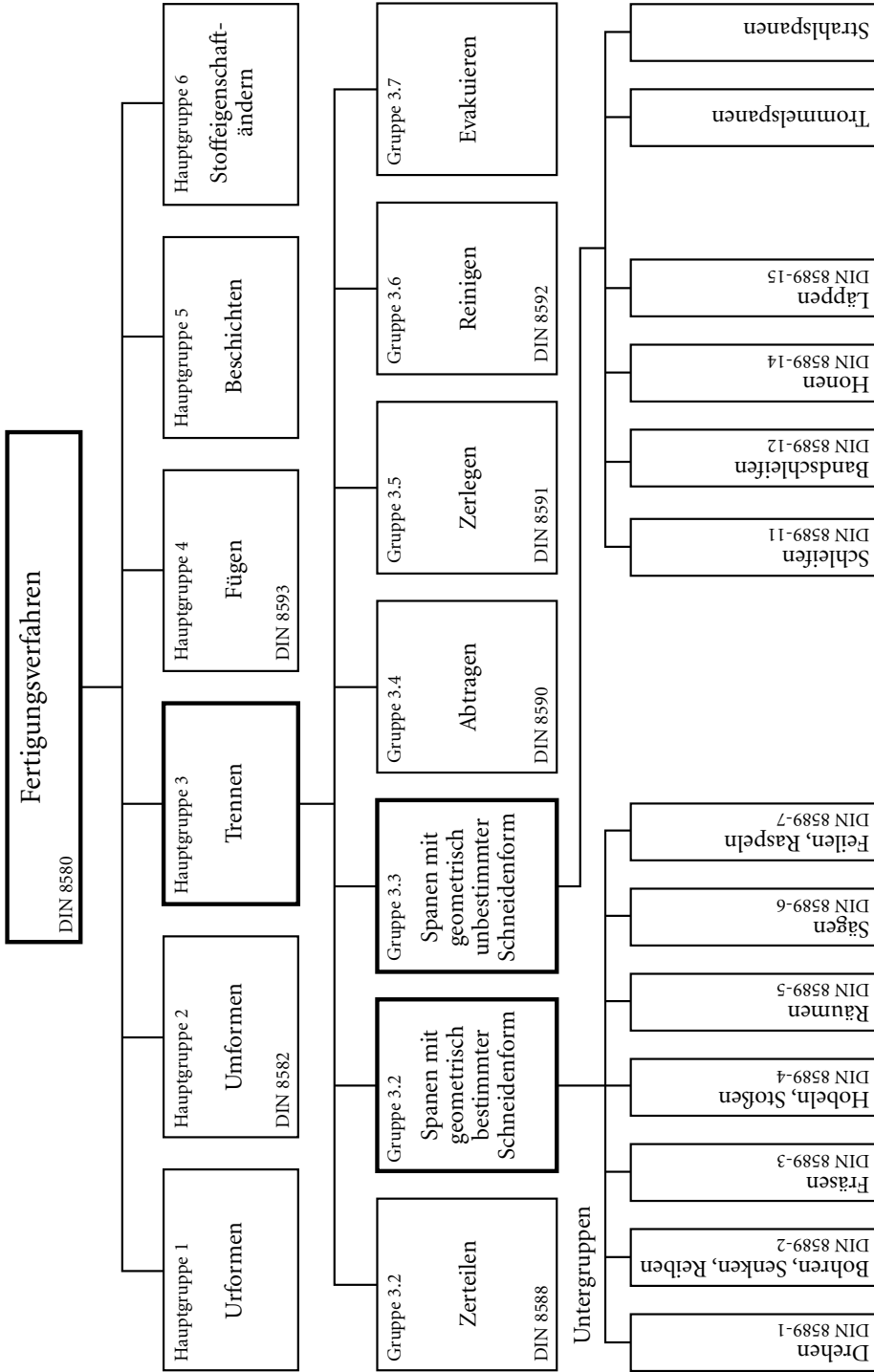


Bild 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 und Zuordnung spanender Verfahren

Die Begriffe des Spanens müssen folgenden Forderungen Rechnung tragen:

1. Sie müssen auf sämtliche spanende Bearbeitungsverfahren anwendbar und übertragbar sein.
2. Sie müssen in einem logischen geometrischen Zusammenhang stehen.
3. Eingeführte und bestehende Begriffe sollten soweit wie möglich berücksichtigt werden.

Die gleichzeitige Gültigkeit der Begriffe für alle spanenden Verfahren schafft die Möglichkeit, die für die Praxis notwendigen Begriffe auf ein Minimum zu beschränken.

Die Systematik und die Begriffe beruhen darauf, dass von dem allgemeinen Fall des Spannungsvorgangs, bei dem die Vorschubrichtung nicht senkrecht zur Schnitttrichtung steht, ausgegangen wurde. Das häufig als Lehrbeispiel dargestellte Drehen stellt dann nur einen Sonderfall dar. Die Betrachtungen dieses allgemeinen Falls führen zur Einführung des entscheidenden Begriffs des Vorschubrichtungswinkels  $\varphi$ . Erst durch ihn ergibt sich der geometrische Zusammenhang zwischen den verschiedenen spanenden Verfahren.

Weiterhin werden die Wirkbewegungen als Resultierende aus Schnittbewegung und Vorschubbewegung in die Betrachtung einbezogen und hieraus die Wirkbegriffe abgeleitet. Wenn auch der Unterschied zwischen Wirkrichtung und Schnitttrichtung meist vernachlässigbar klein ist, werden doch durch den Wirkrichtungswinkel  $\eta$ , der den Unterschied zwischen Wirkrichtung und Schnitttrichtung angibt, wesentliche geometrische Zusammenhänge deutlich. Da diese Kinematik des Spannungsvorgangs die wesentliche Grundlage für die neue Betrachtungsweise bildet, ergibt sich als entscheidende Bezugsebene für die Spanungsgeometrie diejenige Ebene, die alle Bewegungen enthält. Sie wird Arbeitsebene genannt. Mit den Begriffen Vorschubrichtungswinkel, Wirkrichtungswinkel und Arbeitsebene lassen sich die Grundbegriffe allgemein gültig für alle spanenden Verfahren aufbauen.

### 1.1.1 Kinematik und Geometrie des Spannungsvorgangs

Die für jeden spanenden Vorgang wichtigen Bewegungen sowie die Geometrie des Spannungsvorgangs sind in DIN 6580 festgelegt. Sie stimmen inhaltlich mit ISO 3002-1 und 3002-3 überein.

Die folgenden Teilabschnitte 1.1.1.1 bis 1.1.1.5 behandeln die Spanungs kinematik als Grundlage der Festlegungen. Die hieraus abgeleiteten notwendigen Hilfsbegriffe sind in 1.1.1.6 erläutert. Teilabschnitt 1.1.1.7 definiert die Flächen am Werkstück, während in 1.1.1.8 bis 1.1.1.10 die Vorschubgrößen, Eingriffsgrößen und Spanungsgrößen definiert und erläutert sind.

Besonders die Begriffs festlegung der Schnitttiefe bzw. Schnittbreite  $a_p$  im Teilabschnitt 1.1.1.9 ist zu beachten, um Verwechslungen mit dem Arbeitseingriff  $a_e$ , zu vermeiden. Die Größe  $a_p$  ist immer diejenige, die, mit dem Vorschub  $f$  multipliziert, den Spanungsquerschnitt  $A$  ergibt. Da der Vorschub in der Arbeitsebene bzw. parallel dazu gemessen wird, muss die Größe  $a_p$  senkrecht dazu gemessen werden. Sie erscheint als Schnitttiefe oder als Schnittbreite und führt deshalb wahlweise die eine oder andere Benennung, aber immer das gleiche Zeichen  $a_p$ . Beim Fräsen und Schleifen ist zusätzlich der Arbeitseingriff  $a_e$ , von Interesse. Er steht senkrecht zur Größe  $a_p$  und zur Vorschubrichtung und ist nicht zu verwechseln mit der Schnitttiefe  $a_p$ .

Die im Abschnitt 1.1.1.10 erläuterten Spanungsgrößen sind nicht identisch mit den Abmessungen der abgehobenen Späne (siehe Unterabschnitt 1.2.1.1). In den Begriffen der spanenden Formung werden die „Einstellgrößen“, d. h. die Größen, die für den Arbeitsgang unmittelbar an der Maschine einzustellen sind, nicht besonders behandelt.

Selbstverständlich können je nach Kinematik der Werkzeugmaschine z. B. auch Geschwindigkeiten, Vorschubgrößen oder Eingriffsgrößen „Einstellgrößen“ sein.

Die definierten Begriffe beziehen sich immer auf den jeweils betrachteten Schneidenpunkt.

### 1.1.1.1 Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück

Die Bewegungen bei einem Spanungsvorgang sind Relativbewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück. Sie werden auf das ruhend gedachte Werkstück bezogen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen solchen Bewegungen, die unmittelbar das Entstehen von Spänen bewirken (Wirkbewegung, Schnittbewegung und Vorschubbewegung), und solchen, die nicht unmittelbar am Entstehen von Spänen beteiligt sind (Zustellbewegung, Nachstellbewegung, Ausstellbewegung und Rückstellbewegung).

Die Bewegungen können gerade, kreisförmig oder beliebig sein. Es sind Bewegungen an der Wirkstelle, die durch die Werkzeugmaschine erzeugt werden.

Unmittelbar entstehen Späne durch die Wirkbewegung, die sich meist aus einer Schnittbewegung und einer Vorschubbewegung zusammensetzt, nach einer vorangegangenen Zustellbewegung.

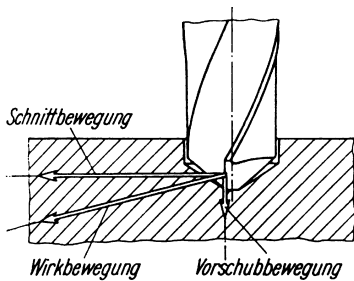


Bild 1.2 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Bohren (nach DIN 6580)

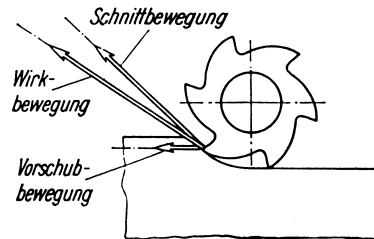


Bild 1.3 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Fräsen (nach DIN 6580)

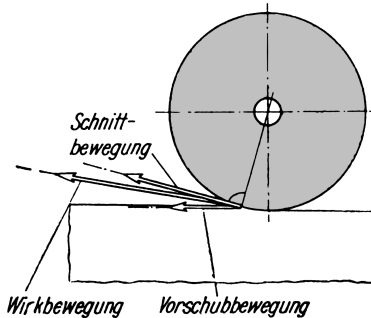


Bild 1.4 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Schleifen (nach DIN 6580)

## Wirkbewegung

Die Wirkbewegung ist die Bewegung zwischen Werkzeugschneide und Werkstück, die den Zerspanvorgang bewirkt. Sie ist in der Regel eine aus Schnitt- und Vorschubbewegung resultierende Bewegung. Erfolgt keine gleichzeitige Vorschubbewegung, so ist die Wirkbewegung identisch mit der Schnittbewegung (Bilder 1.1 bis 1.3).

## Schnittbewegung

Die Schnittbewegung ist diejenige Bewegung zwischen Werkzeugschneide und Werkstück, die ohne Vorschubbewegung nur eine einmalige Spanabnahme während einer Umdrehung oder eines Hubs bewirken würde. Die Schnittbewegung kann sich aus mehreren Komponenten zusammensetzen.

## Vorschubbewegung

Die Vorschubbewegung ist diejenige Bewegung zwischen Werkstück und Werkzeug, die zusammen mit der Schnittbewegung eine mehrmalige oder stetige Spanabnahme während mehrerer Umdrehungen oder Hübe ermöglicht. Sie kann schrittweise oder stetig vor sich gehen. Die Vorschubbewegung kann sich aus mehreren Komponenten zusammensetzen (Bild 1.5).

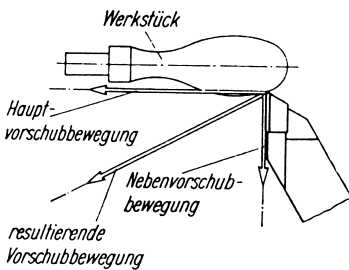


Bild 1.5 Beispiel für eine zusammengesetzte Vorschubbewegung (nach DIN 6580)

Die nicht unmittelbar an der Spanentstehung beteiligten Bewegungen sind trotzdem bedeutungsvoll, weil sie zur Bearbeitung des Werkstücks zwingend notwendig sind. Die Zustellbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück bestimmt im Voraus die Dicke der jeweils abzuhebenden Schicht (Schnitttiefe  $a_p$ ).

*Anmerkungen:* Bei einigen Fertigungsverfahren – z. B. Einstechdrehen, Bohren, Räumen – gibt es verfahrensbedingt keine Zustellbewegung. Ferner ist auch die Nachstellbewegung als Korrekturbewegung bedeutsam, z. B. um den Werkzeugverschleiß mit Blick auf die geforderte Maßgenauigkeit des Werkstücks auszugleichen.

Die Anstellbewegung ist erforderlich, um das Werkzeug vor dem Spanen an das Werkstück heranzuführen, während die Rückstellbewegung das Werkzeug in die Ausgangslage zurückführt.

### 1.1.1.2 Richtungen der Bewegungen (Bewegungsrichtungen)

Unter den Bewegungsrichtungen versteht man die momentane Richtung der Wirkbewegung (Wirkrichtung), der Schnittbewegung (Schnittrichtung) und der Vorschubbewegung (Vorschubrichtung) im ausgewählten Schneidenpunkt.

Entsprechend kann unterschieden werden zwischen Zustell-, Nachstell-, Anstell- und Rückstellrichtung.

### 1.1.1.3 Wege des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück

Den einzelnen Bewegungen lassen sich die entsprechenden Wege zuordnen. So sind im Bild 1.6 am Beispiel des Walzfräsens der Wirkweg  $l_e$ , der Schnittweg  $l_c$  und der Vorschubweg  $l_f$  dargestellt.

Zum Beispiel ist der Vorschubweg  $l_f$  derjenige Weg, den der betrachtete Schneidenpunkt durch die Vorschubbewegung spanend zurücklegt. Der auf die Umdrehung oder den Hub bezogene Vorschubweg wird als „Vorschub“ bezeichnet und bedeutet folglich immer Vorschub pro Umdrehung bzw. pro Hub (siehe Abschnitt 1.1.1.8). Zustellweg  $l_z$ , Nachstellweg  $l_n$ , Anstellweg  $l_a$  und Rückstellweg  $l_r$  sind die jeweils den o. g. Bewegungen zugeordneten Wege.

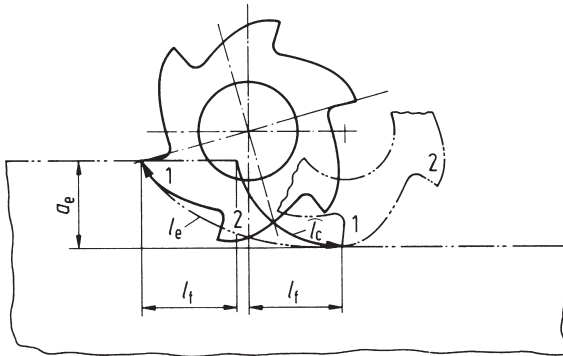


Bild 1.6 Schnittweg  $l_c$ , Vorschubweg  $l_f$  und Wirkweg  $l_e$  beim Gegenlaufräsen (nach DIN 6580)  
Die Zahlen 1 und 2 zeigen die Bewegung der Fräserzähne.

### 1.1.1.4 Geschwindigkeiten

#### Wirkgeschwindigkeit $v_e$

Die Wirkgeschwindigkeit  $v_e$  ist die momentane Geschwindigkeit der Wirkbewegung im betrachteten (ausgewählten) Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9).

$$v_e = \frac{v_c \sin \varphi}{\sin(\varphi - \eta)} = \frac{v_f + v_c \cos \varphi}{\cos(\varphi - \eta)} \quad (1.1)$$

In vielen Fällen ist das Verhältnis  $v_f/v_c$  so klein, dass die Näherung gilt

$$v_e \approx v_c \quad (1.2)$$

#### Schnittgeschwindigkeit $v_c$

Die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  ist die momentane Geschwindigkeit der Schnittbewegung im betrachteten Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9). Sie ist z. B. bedeutungsvoll für das Standvermögen und die Standzeitberechnung der Werkzeuge sowie für die Leistungsberechnung der Werkzeugmaschine.

### Vorschubgeschwindigkeit $v_f$

Die Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  ist die momentane Geschwindigkeit der Vorschubbewegung im betrachteten Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9). Sie ist besonders für das Fräsen von Bedeutung und dient zur Leistungsberechnung von Vorschubantrieben.

Zustellgeschwindigkeit  $v_z$ , Nachstellgeschwindigkeit  $v_n$ , Anstellgeschwindigkeit  $v_a$  und Rückstellgeschwindigkeit  $v_r$  sind jeweils die momentanen Geschwindigkeiten im betrachteten Schneidenpunkt.

#### 1.1.1.5 Komponenten der Bewegungen, Richtungen, Wege und Geschwindigkeiten

Die in den vorstehenden Abschnitten definierten Bewegungen Richtungen (1.1.1.2), Wege (1.1.1.3) und Geschwindigkeiten (1.1.1.4) können auch aus verschiedenen Komponenten erzeugt werden.

1. Komponenten, bezogen auf das rotierende Werkzeug bzw. Werkstück
2. Komponenten, bezogen auf lineare Bewegungen von Werkzeug bzw. Werkstück
3. Komponenten, bezogen auf die Werkzeugmaschine.

Anmerkung: Weitere Begriffe siehe DIN 66 217.

#### 1.1.1.6 Hilfsbegriffe

Die einheitliche Betrachtung der verschiedenen Spanungsverfahren erfordert die Einführung einiger Hilfsbegriffe:

#### Vorschubrichtungswinkel $\varphi$

Der Vorschubrichtungswinkel  $\varphi$  ist der Winkel zwischen Vorschubrichtung und Schnittrichtung (Bilder 1.7 bis 1.11).

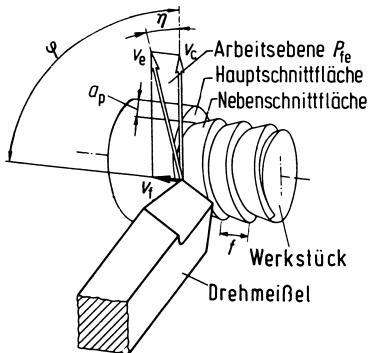


Bild 1.7 Arbeitsebene  $P_{fe}$ , Vorschubrichtungswinkel  $\varphi$  und Wirkrichtungswinkel  $\eta$  beim Drehen (nach DIN 6580)

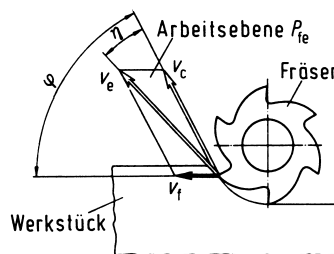


Bild 1.8 Arbeitsebene  $P_{fe}$ , Vorschubrichtungswinkel  $\varphi$  und Wirkrichtungswinkel  $\eta$  beim Gegenlaufräsen mit Walzenfräser ( $\varphi < 90^\circ$ ) (nach DIN 6580)

Bei manchen Spanungsvorgängen, z. B. beim Fräsen, ändert sich  $\varphi$  laufend während des Schneidens (Bilder 1.8 bis 1.9). Dagegen ist bei anderen Spanungsvorgängen  $\varphi$  konstant =  $90^\circ$



(siehe Bild 1.7), was bei diesen Vorgängen eine vereinfachte Berechnung des Wirkrichtungswinkels  $\eta$  nach sich zieht (siehe Gl. 1.4).

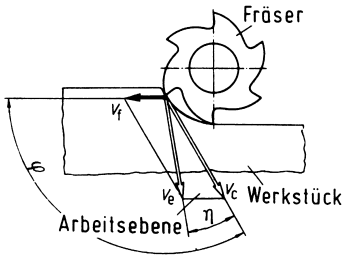


Bild 1.9 Arbeitsebene  $P_{fe}$ , Vorschubrichtungswinkel  $\varphi$  und Wirkrichtungswinkel  $\eta$  beim Gleichlaufräsen mit Walzenfräser ( $\varphi > 90^\circ$ ) (nach DIN 6580)

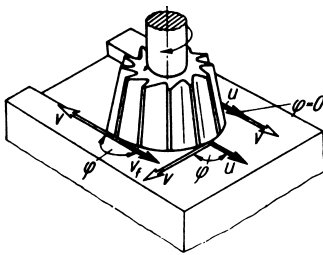


Bild 1.10 Vorschubrichtungswinkel  $\varphi$  beim Fräsen mit Stirnfräser (nach DIN 6580)

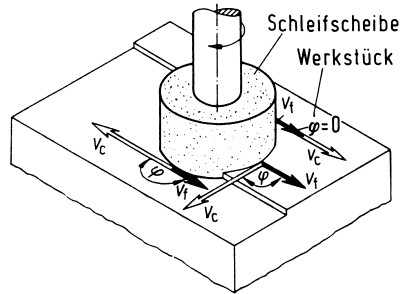


Bild 1.11 Vorschubrichtungswinkel  $\varphi$  beim Schleifen mit Stirnfräser (nach DIN 6580)

### Wirkrichtungswinkel

Der Wirkrichtungswinkel  $\eta$  ist der Winkel zwischen Wirkrichtung und Schnitttrichtung (Bilder 1.7 bis 1.9):

$$\tan \eta = \frac{\sin \varphi}{\frac{v_c}{v_f} + \cos \varphi} \quad (1.3)$$

Bei

$$\varphi = 90^\circ \quad \text{ist} \quad \tan \eta = \frac{v_f}{v_c} \quad (1.4)$$

### Arbeitsebene $P_{fe}$

Die Arbeitsebene  $P_{fe}$  ist eine gedachte Ebene, die die Schnitttrichtung und die Vorschubrichtung (in dem jeweils betrachteten Schneidpunkt) enthält. In ihr vollziehen sich die Bewegungen, die an der Spanentstehung beteiligt sind (Bilder 1.7 bis 1.9).

*Anmerkung:* Es gibt immer nur eine Arbeitsebene, auch dann, wenn die Vorschubbewegung aus mehreren Komponenten erzeugt wird, weil es momentan immer nur eine Vorschubrichtung gibt.

### 1.1.1.7 Flächen am Werkstück

Man unterscheidet die Ausgangsfläche, die Schnittfläche und die gefertigte Fläche. Während man unter der Ausgangsfläche die Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks vor dem Spanen versteht (Bild 1.12), ist die Schnittfläche die am Werkstück von der Werkzeugschneide erzeugte Fläche (Bild 1.12).

Ein Teil dieser Schnittfläche wird bei der nächsten Umdrehung bzw. beim nächsten Hub wieder abgespannt. Die am Werkstück verbleibenden Teile bilden die gefertigte Fläche, d. h. im Endeffekt diejenige Fläche am Werkstück, die durch den Spanungsvorgang erzeugt wurde (Bild 1.12).

*Anmerkung:* Entsprechend der Unterscheidung von Haupt- und Nebenschneide kann zwischen Haupt- und Nebenschnittflächen unterschieden werden, siehe auch Bild 1.12 und DIN 6580.

### 1.1.1.8 Vorschubgrößen

#### Vorschub $f$

Der Vorschub  $f$  ist der Vorschub je Umdrehung oder je Hub (Bild 1.12) gemessen in der Arbeitsebene.

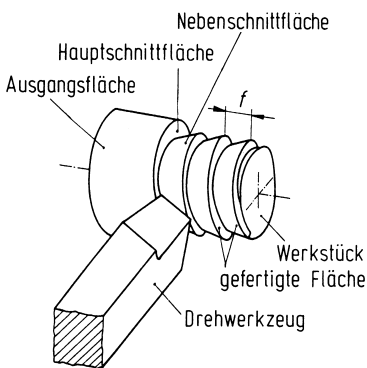


Bild 1.12 Flächen und Vorschub  $f$  beim Drehen (nach DIN 6580)

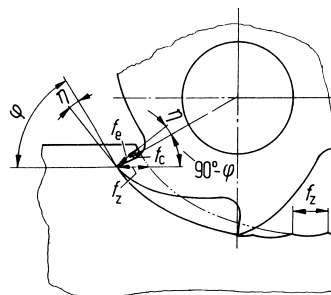


Bild 1.13 Zahnvorschub  $f_z$ , Schnittvorschub  $f_c$  und Wirkvorschub  $f_e$  beim Gegenlaufräsen (nach DIN 6580)

#### Zahnvorschub $f_z$

Der Zahnvorschub  $f_z$  ist der Vorschubweg zwischen zwei unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, also der Vorschub je Zahn oder je Schneide (Bild 1.13), gemessen in der Arbeitsebene. Es ist

$$f_z = \frac{f}{z} \quad z \text{ Anzahl der Schneidenträger (Zähne).} \quad (1.5)$$

Ist  $z = 1$ , z. B. beim Fräsen mit einem Einzahnfräser oder beim Drehen, so wird damit

$$f_z = f \quad (1.6)$$

Beim Räumen entspricht dem Zahnvorschub die Zahnstaffelung. Vom Zahnvorschub  $f_z$  abgeleitet sind der Schnittvorschub  $f_c$  und der Wirkvorschub  $f_e$ .

### Schnittvorschub $f_c$

Der Schnittvorschub  $f_c$  ist der Abstand zweier unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Schnittrichtung (Bild 1.13). Es ist

$$f_c \approx f_z \sin \varphi \quad (1.7)$$

Bei Spannungsvorgängen mit  $\varphi = 90^\circ$  (z. B. beim Drehen und Hobeln) ist

$$f_c = f_z \quad (1.8)$$

### Wirkvorschub $f_e$

Der Wirkvorschub  $f_e$  ist der Abstand zweier unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Wirkrichtung (Bild 1.13). Es ist

$$f_e \approx f_z \sin(\varphi - \eta) \quad (1.9)$$

In vielen Fällen ist das Verhältnis  $v_f/v_c$  so klein, dass  $\eta$  vernachlässigbar ist. Dann ist mit genügender Genauigkeit

$$f_e \approx f_z \sin \varphi \approx f_c \quad (1.10)$$

## 1.1.1.9 Eingriffsgrößen

Die Eingriffsgrößen beschreiben geometrisch das Ineinandergreifen von Werkzeug und Werkstück, also des Wirkpaares.

### a) Eingriffsgrößen des Werkzeuges, bezogen auf die Arbeitsebene

#### Schnitttiefe bzw. Schnittbreite $a_p$

Die Schnitttiefe bzw. Schnittbreite  $a_p$  ist die Tiefe bzw. Breite des Eingriffs der Hauptschneide, senkrecht zur Arbeitsebene gemessen (Bilder 1.14 bis 1.18).

Beim Langdrehen und Plandrehen, Stirnfräsen und Seitenschleifen entspricht  $a_p$  der Tiefe des Eingriffs (Schnitttiefe).

Beim Einstechen, Räumen, Walzfräsen und Umfangsschleifen entspricht  $a_p$  der Breite des Eingriffs, also der Schnittbreite.

Beim Bohren ins Volle entspricht  $a_p$  dem halben Bohrerdurchmesser.

#### Arbeitseingriff $a_e$

Der Arbeitseingriff  $a_e$  ist die Größe des Eingriffes des Werkzeuges, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Vorschubrichtung.

Der Arbeitseingriff hat insbesondere beim Fräsen und Schleifen Bedeutung, siehe Bilder 1.14 bis 1.16.

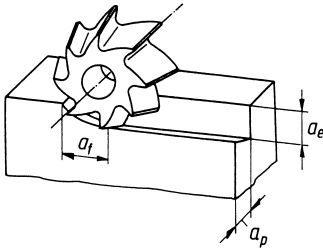


Bild 1.14 Schnittbreite  $a_p$ , Arbeitseingriff  $a_e$  und Vorschubeingriff  $a_f$  beim Umfangsfräsen (nach DIN 6580)

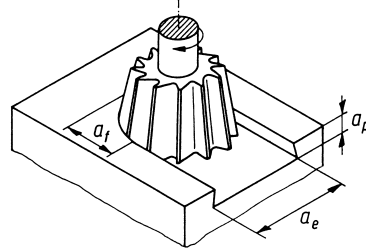


Bild 1.15 Schnittbreite  $a_p$ , Arbeitseingriff  $a_e$  und Vorschubeingriff  $a_f$  beim Stirnfräsen (nach DIN 6580)

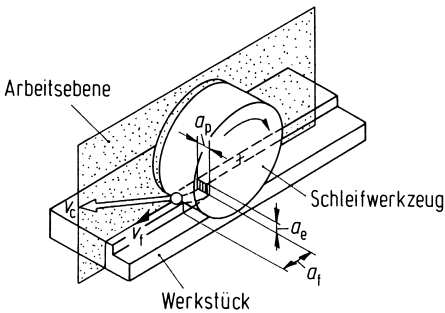


Bild 1.16 Schnittbreite  $a_p$ , Arbeitseingriff  $a_e$  und Vorschubeingriff  $a_f$  beim Umfangsschleifen (nach DIN 6580)

### Vorschubeingriff $a_f$

Der Vorschubeingriff  $a_f$  ist die Größe des Eingriffes des Werkzeuges in Vorschubrichtung (Bilder 1.14 bis 1.16).

### b) Eingriffsgrößen der Schneide, bezogen auf die Arbeitsebene

Eingriffsgrößen können auch auf eine einzelne Schneide bezogen werden. Sie erhalten dann den Index S.

*Anmerkung:* Der Index S kann entfallen, wenn die Eingriffsgrößen der Schneide mit den entsprechenden Eingriffsgrößen des Werkzeuges identisch sind (Bild 1.18).

### Schnitttiefe bzw. Schnittbreite der Schneide $a_{Sp}$

Die Schnitttiefe bzw. Schnittbreite der Schneide  $a_{Sp}$  ist die Tiefe bzw. Breite des Schneideneingriffes, gemessen senkrecht zur Arbeitsebene (Bilder 1.17 und 1.18).

### Arbeitseingriff der Schneide $a_{Se}$

Der Arbeitseingriff der Schneide  $a_{Se}$  ist die Größe des Schneideneingriffes, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Vorschubrichtung (Bild 1.17).

### Vorschubeingriff der Schneide $a_{sf}$

Der Vorschubeingriff der Schneide  $a_{sf}$  ist die Größe des Schneideneingriffes in Vorschubrichtung (Bilder 1.17 und 1.18).

Die Eingriffsgrößen des Werkzeuges können auch auf die Werkzeugachse oder auf die Werkzeugmaschinenachse bezogen werden.

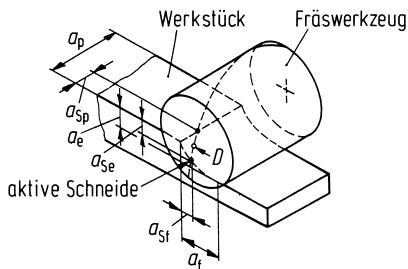


Bild 1.17 Eingriffsgrößen des Werkzeuges und der Schneide beim Umfangsplanfräsen (nach DIN 6580)

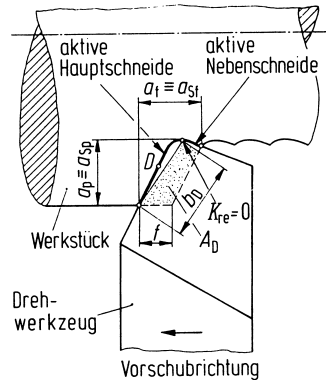


Bild 1.18 Eingriffsgrößen, Schneidenbezugspunkt  $D$  und Nennspannungsbreite  $b_D$  beim Längsdrehen (nach DIN 6580)

#### 1.1.1.10 Spanungsgrößen

Die Spanungsgrößen beschreiben die Maße der vom Werkstück abzuspannenden Schichten. Sie sind nicht identisch mit den Maßen der entstehenden Späne. Spanungsgrößen werden abgeleitet aus

- dem Profil der aktiven Schneide
- den Eingriffsgrößen
- Vorschüben.

Für die vereinfachte Betrachtung der Spanungsgrößen gelten:

- gerade Schneiden
- scharfkantige Schneidenecke
- Neigungswinkel  $\lambda_s = 0^\circ$
- Werkzeug-Einstellwinkel der Nebenschneide  $\lambda'_t = 0$ .

Anmerkung:  $\lambda_s$  und  $\lambda'_t$ , siehe Abschnitt 1.1.2.

#### Spanungsquerschnitt $A$

Der Spanungsquerschnitt  $A$  ist die Querschnittsfläche eines abzunehmenden Spans, gemessen senkrecht zur Schnitttrichtung (Bild 1.19).

$$A = a_p f = bh$$

(1.11)

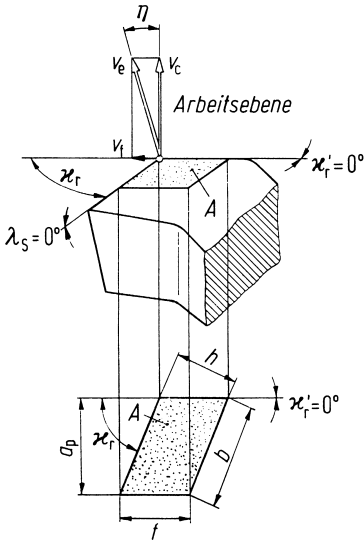


Bild 1.19 Spanungsgrößen bei geraden Schneiden, dargestellt am Beispiel des Längsdrehens mit einem Neigungswinkel  $\lambda_s = 0^\circ$ . Der betrachtete Schneideneckpunkt ist die Schneidenecke (nach DIN 6580)

### Spanungsbreite $b$

Die Spanungsbreite  $b$  ist die Breite des Spanungsquerschnitts, siehe Bild 1.19. Sie ist bei der vereinfachten Betrachtung identisch mit der Länge der aktiven Hauptschneide und der Nenn-Spanungsbreite  $b_D$ .

$$b = \frac{a_p}{\sin \alpha_r} \quad (1.12)$$

### Spanungsdicke $h$

Die Spanungsdicke  $h$  ist die Dicke des Spanungsquerschnitts, siehe Bild 1.19. Sie ist bei der vereinfachten Betrachtung identisch mit der Nenn-Spanungsdicke  $h_D$ .

$$h = f \sin \alpha_r = \frac{A}{b} \quad (1.13)$$

### Wirk-Spanungsgrößen

Man kann die Spanungsgrößen  $A$ ,  $b$  und  $h$  auch auf eine Ebene senkrecht zur Wirkrichtung beziehen, siehe Bild 1.20. Sie heißen dann:

- Wirkspanungsquerschnitt  $A_e$
- Wirkspanungsbreite  $b_e$  und
- Wirkspanungsdicke  $h_e$ .

Es gelten die Beziehungen:

$$A_e = b_e h_e \quad (1.14)$$

$$b_e = b \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_r \sin^2 \eta} \quad (1.15)$$

$$h_e = \frac{h}{\sqrt{1 + \sin^2 \kappa_r \tan^2 \eta}} \quad (1.16)$$

In vielen Fällen ist das Verhältnis  $v_f/v_c$  so klein, dass der Wirkrichtungswinkel  $\eta$  vernachlässigt werden kann.

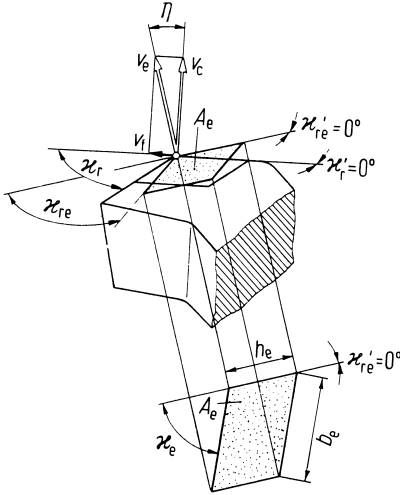


Bild 1.20 Wirkspanungsgrößen bei geraden Schnitten, dargestellt am Beispiel des Längsdrehens analog Bild 1.18 (nach DIN 6580)

Dann ist mit genügender Genauigkeit:

$$b_e = b \quad (1.17)$$

$$h_e = h \quad (1.18)$$

$$A_e = A \quad (1.19)$$

Bei einem Einstellwinkel von  $\kappa_r = 90^\circ$  ist immer:

$$a_p = b = b_e \quad (1.20)$$

$$f = h \quad (1.21)$$

siehe Bilder 1.19 und 1.20.

## Volumina

### Schnittvolumen

Das Schnittvolumen ist die von einem Schneidenteil bei einem Schnitt (Umdrehung oder Hub) vom Werkstück abzuspannende Werkstoffschicht.

### Spanungsschicht

Die Spanungsschicht ist die von einem Werkzeug nach einer Zustellung in einem Durchgang vom Werkstück abzuspannende Werkstoffschicht. Der Querschnitt der Spanungsschicht senkrecht zur Vorschubrichtung wird mit  $A_T$  bezeichnet.

## Spanungsvolumen $V$

Das Spanungsvolumen  $V$  ist das vom Werkstück abzuspannende Werkstoffvolumen. Es kann bezogen werden auf das Werkstück, den Arbeitsgang oder auf eine Zeiteinheit.

Das im Allgemeinen auf eine Zeiteinheit bezogene Spanungsvolumen heißt Zeitspanungsvolumen  $Q$ . Es wird meist auf das Werkzeug bezogen, wird es auf einen Zahn (Schneide) bezogen, so ist das Kurzzeichen  $Q_z$ .

Für das Zeitspanungsvolumen gelten folgende Beziehungen für die wichtigsten Verfahren.

Drehen:

$$Q = a_p f v_c = A v_c \quad \text{bzw.} \quad (1.22)$$

$$Q = \pi d_m a_p v_f = A_T v_f \quad (1.23)$$

$d_m$  ist der mittlere Durchmesser der Spannungsschicht

Aufbohren, Senken, Reiben:

$$Q = a_p f_z v_c = A z v_c \quad \text{bzw.} \quad (1.24)$$

$$Q = \pi d_m a_p v_f = A_T v_f \quad (1.25)$$

Bohren ins Volle:

$$Q = \pi a_p^2 v_f \quad \text{mit} \quad d_m = a_p \quad (1.26)$$

Fräsen und Schleifen:

$$Q = a_c a_p v_f \quad (1.27)$$

### 1.1.2 Geometrie am Schneidteil spanender Werkzeuge

Gemeinsames Merkmal aller spanenden Werkzeuge ist ein dem jeweiligen Verwendungszweck entsprechend gestalteter Schneidteil, dessen geometrische Beschreibung zu den fundamentalen Kenntnissen der Spanungstechnik zählt.

Die Begriffe zur Beschreibung der Geometrie am Schneidteil sind in DIN 6581 und ergänzend in DIN 6582 festgelegt. In DIN 6582 wird gleichfalls auch auf die Besonderheiten der Spanbrecher am Schneidteil eingegangen.

Nachfolgend werden die wesentlichen Begriffe zur Geometrie am Schneidteil vorgestellt und definiert. Schwerpunkt stellt dabei das Werkzeugbezugssystem dar. Auf die Darstellung des Wirkbezugssystems und seiner Winkel wird dabei weitgehend verzichtet. Hierzu wird auf die ausführliche Darstellung in DIN 6581 verwiesen.



### 1.1.2.1 Allgemeine Begriffe

**Schneidteil:** Teil bzw. Teile des Werkzeugs, der bzw. die den Spanungsvorgang bewirken (Bilder 1.21 bis 1.23).

**Werkzeugschaft oder Werkzeugbohrung:** Teil des Werkzeugs, der für Aufnahme und Spanung bestimmt ist (Werkzeugschaft siehe Bilder 1.21 und 1.22; Werkzeugbohrung siehe Bild 1.23)

**Werkzeugachse:** Gedachte Linie, die im Allgemeinen in der Mitte des Werkzeugschaftes oder der Werkzeugbohrung liegt (Bilder 1.22 und 1.23)

**Auflagefläche:** Fläche am Werkzeugschaft, die für die Lagebestimmung des Werkzeugs bei seiner Herstellung, Instandhaltung und beim Spanungsvorgang benötigt wird (Bilder 1.21 und 1.27)

**Schneidkeil:** Schneidteil, der von der Span- und Freifläche eingeschlossen wird (Bild 1.25)

Er kann sowohl einer Haupt- als auch einer Nebenschneide zugeordnet werden (Bild 1.26).

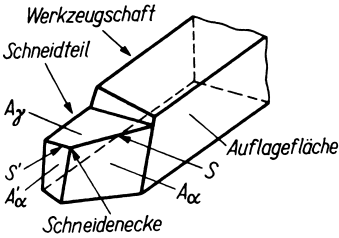


Bild 1.21 Flächen, Schneiden und Schneidenecken am Dreh- oder Hobelmeißel (nach DIN 6581)

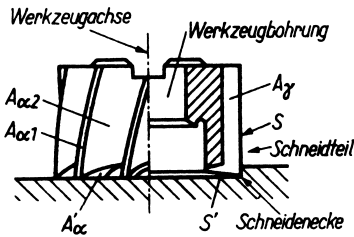


Bild 1.23 Flächen, Schneiden und Schneidenecken am Walzenstirnfräser

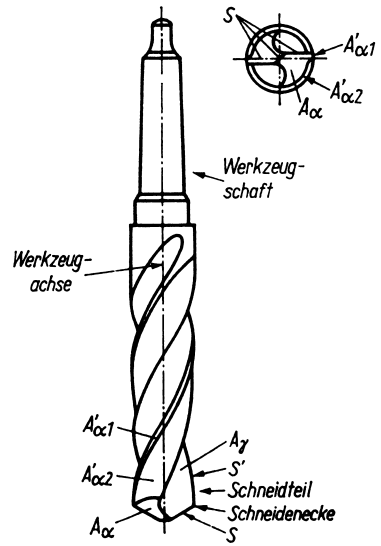


Bild 1.22 Flächen, Schneiden und Schneidenecken am Spiralbohrer

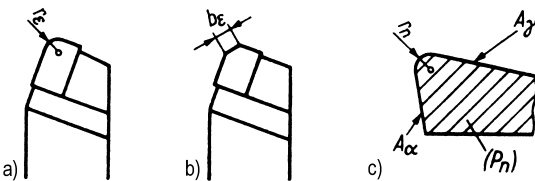


Bild 1.24  
a) Schneidenecke mit Eckenrundung, Eckenradius  $r_e$   
b) Schneidenecke mit Eckenfäse, Breite der Eckenfäse  $b_e$   
c) Gerundete Schneide mit Schneidkantenradius  $r_n$

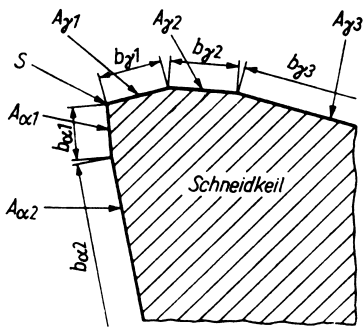


Bild 1.25 Schneidkeil mit geknickter Spanfläche und geknickter Freifläche (nach DIN 6582)

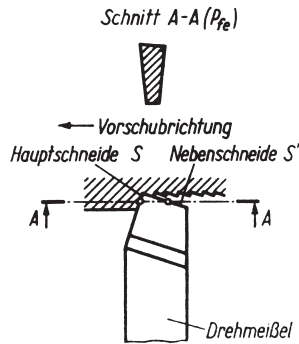


Bild 1.26 Hauptschneide  $S$ , Nebenschneide  $S'$  und ihre Schneidkeile in der Arbeitsebene an einem Drehmeißel (nach DIN 6582)

### 1.1.2.2 Flächen, Schneiden, Ecken und Rundungen

Die Span- und Freiflächen am Schneidkeil sind durch ein Kurzzeichen, bestehend aus dem Buchstaben  $A$  mit einem Index des griechischen Alphabets, der die Flächen eindeutig bestimmt, zu kennzeichnen, z. B.  $A_{\gamma}$  Spanfläche.

Bei Flächen, die einer Nebenschneide zugeordnet sind, enthält das jeweilige Kurzzeichen einen Apostroph, z. B.  $A'_{\alpha}$  Nebenfreifläche.

**Spanfläche  $A_{\gamma}$ :** Fläche und Schneidkeil, auf der der Span abläuft (Bilder 1.21 und 1.22)

Besteht die Spanfläche aus mehreren zueinander geneigten Teilflächen, so sind diese, von der Schneide ausgehend, mit erste Spanfläche  $A_{\gamma 1}$ , zweite Spanfläche  $A_{\gamma 2}$  usw. zu bezeichnen (Bild 1.25). Diese Flächen können auch Spanflächenfasen genannt werden. Die Breite der jeweiligen Spanflächenfase ist mit  $b_{\gamma 1}$ ,  $b_{\gamma 2}$  usw. zu bezeichnen (Bild 1.25). Wenn notwendig, ist der Index, der die Messebene ergibt, hinzuzufügen. Ist nur eine Fase vorhanden, so ist sie mit  $b_{\gamma}$  zu bezeichnen.

**Freiflächen  $A_{\alpha}$ :** Flächen am Schneidkeil, die den entstehenden Schnittflächen zugekehrt sind

Es ist zwischen der Hauptfläche  $A_{\alpha}$  an der Hauptschneide und der Nebenfreifläche  $A'_{\alpha}$  an der Nebenschneide zu unterscheiden (Bilder 1.21 und 1.22).

Besteht die Freifläche aus mehreren zueinander geneigten Teilflächen, so sind diese, von der Schneide ausgehend, mit erster Hauptfreifläche  $A_{\alpha 1}$ , zweite Hauptfreifläche  $A_{\alpha 2}$  usw. zu bezeichnen (Bild 1.25). Diese Flächen können auch Freiflächenfasen genannt werden. Die Breite der jeweiligen Freiflächenfase ist mit  $b_{\alpha 1}$ ,  $b_{\alpha 2}$  usw. zu bezeichnen (Bild 1.25). Wenn notwendig, ist der Index, der die Messebene angibt, hinzuzufügen, z. B.  $b_{\alpha n 1}$ . Ist nur eine Fase vorhanden, so ist sie mit  $b_{\alpha}$  zu bezeichnen.

**Schneide:** Schnittlinie der Span- und Freifläche

Sie kann gerade, geknickt oder gekrümmt sein. Es ist zwischen der Hauptschneide  $S$  und der Nebenschneide  $S'$  zu unterscheiden.

Ein auf einer Schneide ausgewählter Punkt, z. B. zur Bestimmung der Werkzeugwinkel in diesem Punkt, wird als betrachteter Schneidenpunkt bezeichnet (Bilder 1.26 und 1.27). Er kann auf der Haupt- und Nebenschneide liegen (Bild 1.26).

**Hauptschneide  $S$ :** Schneide, deren Schneidkeil bei Betrachtung in der Arbeitsebene in Vorschubrichtung weist (Bilder 1.21 bis 1.23, 1.25 und 1.26).

**Nebenschneide  $S'$ :** Schneide, deren Schneidkeil bei Betrachtung in der Arbeitsebene nicht in Vorschubrichtung weist (Bilder 1.21, 1.22 und 1.25)

**Schneidenecke:** Ecke, an der eine Haupt- und Nebenschneide mit gemeinsamer Spanfläche zusammentreffen (Bilder 1.21 und 1.24)

Vielfach wird an der Schneidenecke eine Eckenrundung oder Eckenfase eingebracht (Bild 1.24).

**Eckenrundung:** Rundung der Schneidenecke

Der Radius der Eckenrundung wird in der Werkzeugbezugsebene  $P_r$  gemessen und mit Eckenradius  $r_e$  bezeichnet (Bild 1.24).

**Eckenfase:** Fase an der Schneidenecke

Die Breite der Eckenfase wird in der Werkzeugbezugsebene  $P_r$  gemessen und mit  $b_e$  bezeichnet (Bild 1.24).

**Schneidkantenrundung:** Rundung, die durch den gerundeten Übergang zwischen der Span- und Freifläche gebildet wird

Der Radius der Schneidkantenrundung wird in der Schneiden-Normalebene  $P_n$  gemessen und mit Schneidkantenradius  $r_n$  bezeichnet (Bild 1.24c).

### 1.1.2.3 Werkzeug-Bezugssystem und Werkzeugwinkel

Für die Bestimmung der Winkel am Schneidteil werden zwei Bezugssysteme angewendet.

Es ist zwischen dem Werkzeug-Bezugssystem für das nicht im Einsatz befindliche Werkzeug und dem Wirk-Bezugssystem für das im Spanungsprozess eingesetzte Werkzeug zu unterscheiden. Beide Bezugssysteme bauen auf verschiedenen Bezugsebenen auf.

Die Begriffe beziehen sich auf den jeweils betrachteten Schneidenpunkt der Haupt- und Nebenschneide, da sich die geometrischen und kinematischen Verhältnisse längs einer Schneide ändern können.

Das Werkzeug-Bezugssystem wird für die Herstellung und Instandhaltung der Werkzeuge benötigt.

Jeder Ebene des Werkzeug-Bezugssystems ist ein Kurzzeichen zuzuordnen, das aus dem Buchstaben  $P$  mit einem Index besteht, der die Ebene eindeutig kennzeichnet, z. B.  $P_s$  Werkzeug-Schneidenebene.

Sofern nichts anderes angegeben ist, gelten die Begriffe immer für die Hauptschneide. Bei Ebenen, die einem betrachteten Schneidenpunkt auf der Nebenschneide zugeordnet sind, erhält das jeweilige Kurzzeichen einen Apostroph, z. B.  $P'_s$  Werkzeug-Schneidenebene der Nebenschneide.

Benennung, Kurzzeichen und Definition der Ebenen des Werkzeug-Bezugssystems ist im Bild 1.27 dargestellt.

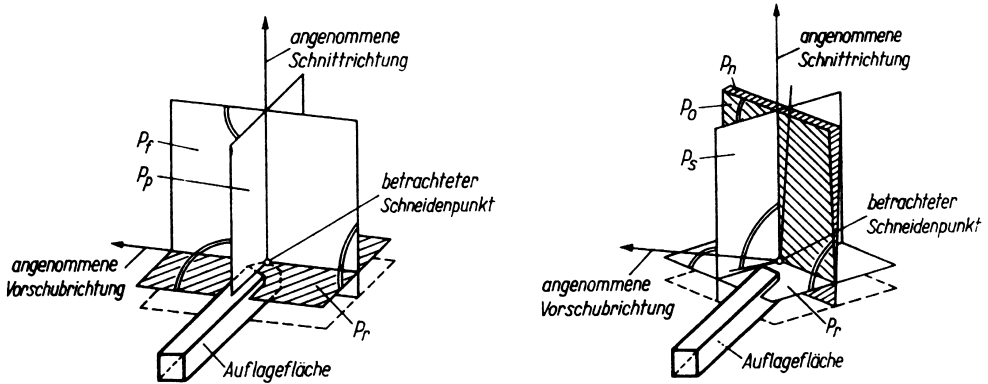


Bild 1.27 Ebenen im Werkzeug-Bezugssystem (nach DIN 6581)

**Werkzeug-Bezugsebene  $P_T$ :** Ebene senkrecht zur angenommenen Schnitttrichtung im betrachteten Schneidenpunkt

Sie ist im Allgemeinen parallel oder senkrecht zu einer Fläche oder Achse des Werkzeugs ausgerichtet.

**Werkzeug-Schneidenebene  $P_S$ :** Ebene, die die Schneide enthält und senkrecht zur Werkzeug-Bezugsebene  $P_T$  steht

Bei gekrümmten Schneiden ist sie eine Tangentialebene zur Schneide im betrachteten Schneidenpunkt.

**Werkzeug-Orthogonalebene  $P_O$ :** Ebene senkrecht zur Werkzeug-Bezugsebene  $P_T$  und senkrecht zur Werkzeug-Schneidenebene  $P_S$  im betrachteten Schneidenpunkt

**Schneiden-Normalebene  $P_n$ :** Ebene senkrecht zur Schneide im betrachteten Schneidenpunkt  
Bei gekrümmten Schneiden steht sie senkrecht zur Tangente im betrachteten Schneidenpunkt.

**Angenommene Arbeitsebene  $P_f$ :** Ebene senkrecht zur Werkzeug-Bezugsebene  $P_T$  im betrachteten Schneidenpunkt, die die angenommene Vorschubrichtung enthält. Sie ist im Allgemeinen parallel oder senkrecht nach einer Fläche oder Achse des Werkzeugs ausgerichtet.

**Werkzeug-Rückebene  $P_p$ :** Ebene senkrecht zur Werkzeug-Bezugsebene  $P_T$  und senkrecht zur angenommenen Arbeitsebene  $P_f$  im betrachteten Schneidenpunkt

**Spanflächen-Orthogonalebene  $P_g$ :** Ebene senkrecht zur Werkzeug-Bezugsebene  $P_T$  und senkrecht zur Spanfläche  $A_\gamma$  im betrachteten Schneidenpunkt

**Freiflächen-Orthogonalebene  $P_b$ :** Ebene senkrecht zur Werkzeug-Bezugsebene  $P_T$  und senkrecht zur Freifläche  $A_\alpha$  im betrachteten Schneidenpunkt

Die Winkel am Schneidteil dienen zur Bestimmung der geometrischen Lage der Schneide, der Spanfläche und der Freifläche. Es ist zwischen den Werkzeugwinkeln im Werkzeug-Bezugssystem und den Wirkwinkeln im Wirk-Bezugssystem zu unterscheiden.

Die Winkel beziehen sich auf den jeweils betrachteten Schnittpunkt der Haupt- oder Nebenschneide, da sich die Winkel längs einer Schneide ändern können.

Jedem Winkel ist ein Kurzzeichen zuzuordnen, das aus einem griechischen Buchstaben mit einem Index besteht, wobei der Index auf die Ebene hinweist, in der der Winkel gemessen wird, z. B.  $\gamma_n$  Werkzeug-Normal-Spanwinkel.

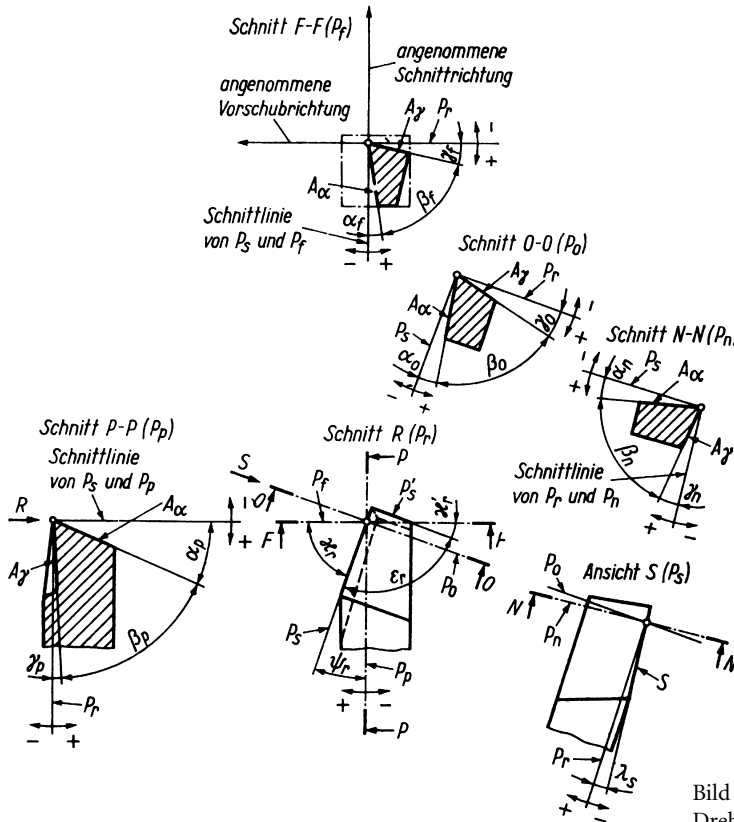


Bild 1.28 Werkzeugwinkel am Drehmeißel (nach DIN 6581)

**Werkzeug-Einstellwinkel  $\alpha_f$ :** Winkel zwischen  $P_s$  und  $P_f$ , gemessen in  $P_f$

**Werkzeug-Einstellergänzungswinkel  $\alpha_o$ :** Winkel zwischen  $P_s$  und  $P_o$ , gemessen in  $P_o$

**Werkzeug-Neigungswinkel  $\lambda_s$ :** Winkel zwischen  $S$  und  $P_r$ , gemessen in  $P_s$

**Werkzeug-Eckenwinkel  $\epsilon_r$ :** Winkel zwischen  $P_s$  und  $P'_s$ , gemessen in  $P_r$

**Werkzeug-Spanwinkel  $\gamma_o$ :** Winkel zwischen  $P_r$  und  $A_\gamma$ , gemessen in  $P_o$

**Werkzeug-Freiwinkel  $\alpha_o$ :** Winkel zwischen  $P_s$  und  $A_\alpha$ , gemessen in  $P_o$

**Werkzeug-Keilwinkel  $\beta_o$ :** Winkel zwischen  $A_\alpha$  und  $A_\gamma$ , gemessen in  $P_o$

Sofern nichts anderes angegeben ist, gelten die Winkel immer für die Hauptschneide. Bei Winkeln, die einem betrachteten Schneidenpunkt auf der Nebenschneide zugeordnet sind, erhält das jeweilige Kurzzeichen einen Apostroph, z. B.  $\gamma'_n$  Werkzeug-Normal-Spanwinkel der Nebenschneide.

Besteht die Span- oder Freifläche aus mehreren zueinander geneigten Teilflächen bzw. Fasen, so sind die Span- und Freiwinkel, von der Schneide ausgehend, mit einem zusätzlichen Index zu nummerieren, z. B.  $\gamma_{n1}$ ,  $\gamma_{n2}$ ,  $\alpha_{n1}$ ,  $\alpha_{n2}$ . Wenn die Span- oder Freifläche nur aus einer Fläche besteht, ist der zusätzliche Index nicht zu verwenden.

#### 1.1.2.4 Wirk-Bezugssystem und Wirkwinkel

Unter Abschnitt 1.1.2.3 wurde bereits hingewiesen, dass sich das Werkzeug-Bezugssystem und damit auch die Werkzeugwinkel auf das nicht im Einsatz befindliche Werkzeug beziehen.

Das Wirk-Bezugssystem ist für die Bestimmung der Winkel (= Wirkwinkel) während des Spannungsvorgangs von Bedeutung.

Da, wie im Abschnitt 1.1.1 dargelegt, das Wirk-Bezugssystem und damit die Wirkwinkel sich aber nur bedingt durch die Existenz des Wirkrichtungswinkels  $\eta$  (s. Bilder 1.7 und 1.8) ändern (Kippung des Werkzeug-Bezugssystems um den Winkel  $\eta$ ; s. Bild 1.29), dieser Winkel unter normalen Spannungsbedingungen aber sehr klein ist (wenige Minuten). kann für praktische Bedingungen – ohne größere Fehler zu begehen – das Werkzeug-Bezugssystem auch auf den Spannungsvorgang bezogen werden.

Berücksichtigt werden müssen die Wirkwinkel bei anomalen Spannungsbedingungen. Das ist der Fall, wenn

- die Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  gegenüber der Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  hoch ist, z. B. beim Drehen oder Fräsen von Gewinden oder Schnecken hoher Steigung bei relativ niedriger Drehzahl, sowie insbesondere beim Bohren in der Bohrungsmitte [Gln. (1.3), (1.4)]
- das Werkzeug eine zusätzliche Bewegung erfährt, z. B. Ein- oder Abstechen auf der Trommelrevolverdrehmaschine durch die Drehbewegung der Werkzeugaufnahme, d. h. des Revolverkopfes
- das Werkzeug zum Werkstück und zur Werkzeugmaschine falsch justiert ist. Das ist z. B. dann der Fall, wenn der Drehmeißel über oder unter Spitzenmitte eingestellt wird.

Die Ebenen und Winkel im Wirk-Bezugssystem werden zur Unterscheidung vom Werkzeug-bezugssystem mit dem zusätzlichen Index e (e = effektiv) versehen.

##### Beispiele

$P_{re}$  Wirk-Bezugsebene

$P_{se}$  Wirk-Schneideebene

$P_{oe}$  Wirk-Orthogonalebene (Bild 1.30)

$\alpha_{re}$  Wirk-Einstellwinkel

$\lambda_{se}$  Wirk-Neigungswinkel

$\gamma_{oe}$  Wirk-Orthogonalspanwinkel (Bild 1.30)

Auf eine ausführliche Darlegung der Wirkwinkel wird aus den genannten Gründen verzichtet.

Bild 1.29 zeigt zur Konkretisierung die Ebenen im Wirk-Bezugssystem; Bild 1.30 zeigt die Wirkwinkel am Drehmeißel.

Nähere Ausführungen sind DIN 6581 zu entnehmen.

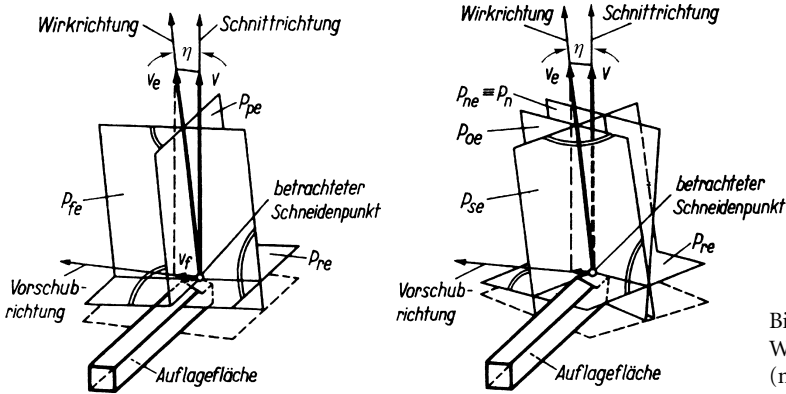


Bild 1.29 Ebene im Wirk-Bezugssystem (nach DIN 6581)

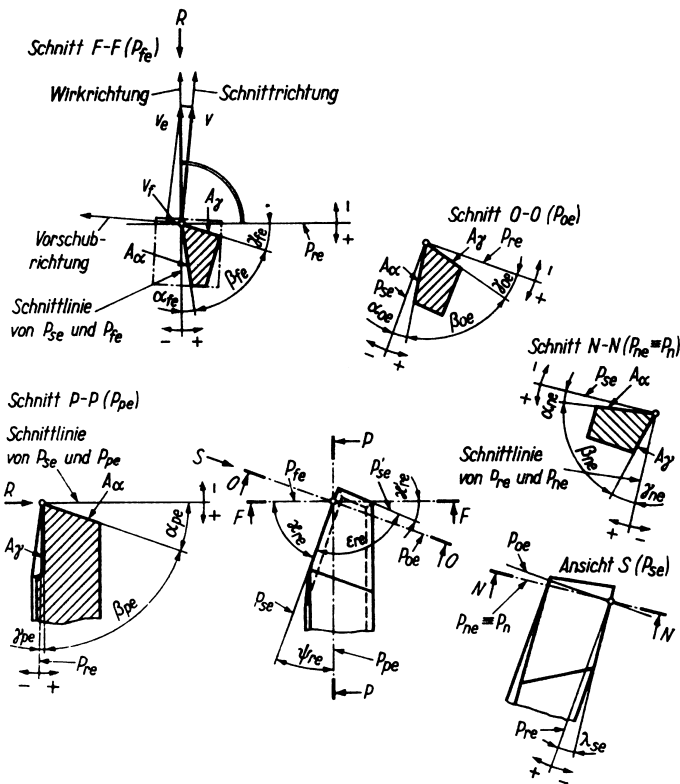


Bild 1.30 Wirkwinkel am Drehmeißel (nach DIN 6581)

### 1.1.3 Kräfte, Energie, Arbeit und Leistungen

Die Darlegungen zu diesem Abschnitt stützen sich auf die Festlegungen in DIN 6584, wobei die darin festgelegten Begriffe für alle Verfahren der spanenden Fertigung gültig sind.

#### 1.1.3.1 Kräfte beim Spanen

Die Kräfte beim Spanen werden auf das Werkstück wirkend betrachtet und definiert. Sie sind in den folgenden Bildern als Reaktionskräfte eingezeichnet um die geometrischen Verhältnisse besser darzustellen. Es gilt generell, dass gleichgroße Kräfte immer auch auf das Werkzeug wirken. Die Kräfte werden in einem Schneidenpunkt angreifend angenommen. Das kann die Schneidenecke oder auch ein auf der Schneide angenommener Schneidenbezugspunkt  $D$  (siehe Bilder 1.17 und 1.18) sein. Es kann aber auch ein anderer Schneidenpunkt gewählt werden.

Bei mehrschneidigen Werkzeugen müssen die Kräfte auf die einzelnen im Eingriff befindlichen Schneidkeile betrachtet werden. Sie können durch vektorielle Addition wieder zu einer Gesamtzerspankraft zusammengesetzt werden. Bei Werkzeugen mit geometrisch unbestimmten Schneiden (Schleifen, Honen, Lappen) werden die Kräfte auf den im Eingriff befindlichen Teil des Werkzeugs (Kollektiv von Schneidkeilen) bezogen.

#### Zerspankraft $F$

Die Zerspankraft  $F$  ist die bei einem Zerspannungsvorgang von einem Schneidkeil auf das Werkstück wirkende Gesamtkraft (Bilder 1.32 und 1.33). Sie kann in verschiedene Komponenten zerlegt werden. Von besonderer Bedeutung sind die auf die Arbeitsebene und auf die Schnitt- und Vorschubrichtung bezogenen Komponenten (siehe Übersicht Bild 1.31). Aus diesem Bild ist ersichtlich, dass die Zerspankraft zunächst in Komponenten in der Arbeitsebene (Aktivkraft  $F_a$ ) und senkrecht zur Arbeitsebene (Passivkraft  $F_p$ ) zerlegt werden kann. Die weitere Betrachtung erfolgt dann ausschließlich in der Arbeitsebene durch Zerlegung der Aktivkraft in Wirkrichtung (Wirkkraft  $F_c$ ) und senkrecht zur Wirkrichtung (Wirknormalkraft  $F_{cN}$ ).

Eine Zerlegung der Komponenten der Aktivkraft  $F_a$  kann auch in Schnittrichtung (Schnittkraft  $F_c$ ) und senkrecht zur Schnittrichtung (Schnittnormalkraft  $F_{cN}$ ) erfolgen. Eine weitere Zerlegung ist in Vorschubrichtung (Vorschubkraft  $F_f$ ) und senkrecht zur Vorschubrichtung (Vorschubnormalkraft  $F_{fN}$ ) möglich.

#### Aktivkraft $F_a$

Die Aktivkraft  $F_a$  ist die Komponente der räumlich wirkenden Zerspankraft  $F$ , die in der Arbeitsebene wirkt (Bilder 1.32 bis 1.34). Sie heißt Aktivkraft, weil mit ihren Komponenten die Leistungen beim Spanen erzeugt werden.

#### Passivkraft $F_p$

Die Passivkraft  $F_p$  ist die Komponente der Zerspankraft  $F$ , die senkrecht zur Arbeitsebene wirkt. Sie heißt deshalb Passivkraft, weil sie nicht an den Leistungen beim Spanen beteiligt ist. Für die kräftemäßige Auslegung von Werkzeug und Werkzeugmaschine ist sie allerdings ebenfalls wichtig (Bilder 1.32 und 1.33).



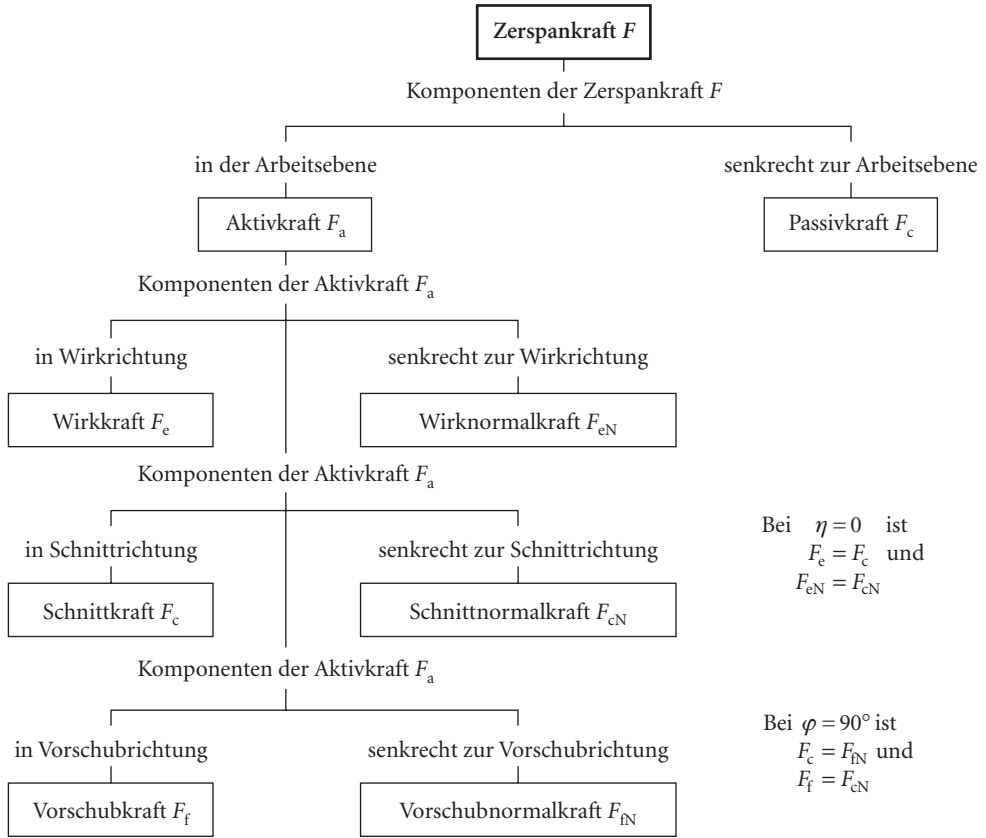


Bild 1.31 Zerlegung der Zerspankraft  $F$  in ihre Komponenten (nach DIN 6584)

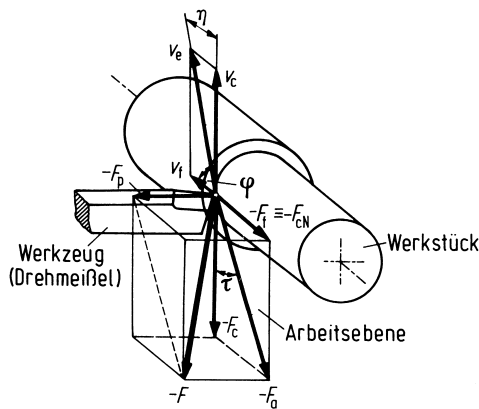


Bild 1.32 Komponenten der Zerspankraft beim Drehen ( $\varphi = 90^\circ$ ) (in Anlehnung an DIN 6584)

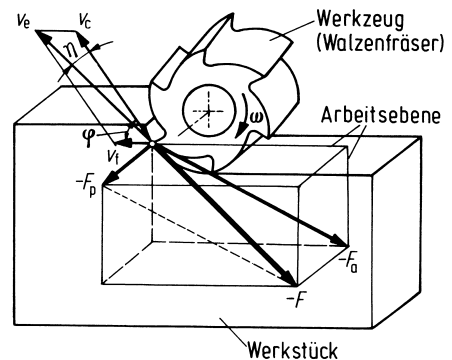


Bild 1.33 Komponenten der Zerspankraft beim Umfangsfräsen im Gegenlauf ( $\varphi < 90^\circ$ ) (in Anlehnung an DIN 6584)

**Wirkkraft  $F_e$** 

Die Wirkkraft  $F_e$  ist die Komponente der Aktivkraft  $F_a$  in Wirkrichtung. Bei einem Wirkrichtungswinkel  $\eta = 0$  entspricht  $F_e = F_c$ . Die Wirkkraft ist in den Bildern nicht eingezeichnet.

**Wirknormalkraft  $F_{eN}$** 

Die Wirknormalkraft  $F_{eN}$  ist die Komponente der Aktivkraft senkrecht zur Wirkrichtung. Bei Wirkrichtungswinkel  $\eta = 0$  entspricht  $F_{eN} = F_{cN}$ . Die Wirknormalkraft ist in den Bildern nicht eingezeichnet.

**Schnittkraft  $F_c$** 

Die Schnittkraft  $F_c$  ist die Komponente der Aktivkraft  $F_a$  in Schnittrichtung (Bild 1.32). Sie ist die bedeutungsvollste Komponente der Zerspankraft  $F$  und für das tatsächliche Abheben des Spans verantwortlich. Die Schnittkraft muss für die einzelnen spanenden Verfahren berechnet werden (siehe Abschnitt 1.5.4. und Kapitel 2). Als so genannte „leistungsführende“ Kraft ist sie auch zusammen mit der Schnittgeschwindigkeit für die Berechnung der Schnitt- bzw. Antriebsleistung der Werkzeugmaschine verantwortlich. Diese Aussagen haben Gültigkeit unter der allgemeinen Voraussetzung, dass der Wirkrichtungswinkel  $\eta \cong 0$  ist und demzufolge  $F_c \cong F_e$  ist.

**Schnittnormalkraft  $F_{cN}$** 

Die Schnittnormalkraft  $F_{cN}$  ist die Komponente der Aktivkraft  $F_a$  senkrecht zur Schnittrichtung (Bild 1.34). Bei  $\varphi = 90^\circ$  (Drehen, Hobeln, Bohren) entspricht sie der Vorschubkraft, also  $F_{cN} \cong F_f$ .

**Vorschubkraft  $F_f$** 

Die Vorschubkraft  $F_f$  ist die Komponente der Aktivkraft  $F_a$  in Vorschubrichtung (Bild 1.32).

**Vorschubnormalkraft  $F_{fN}$** 

Die Vorschubnormalkraft  $F_{fN}$  ist die Komponente der Aktivkraft  $F_a$  senkrecht zur Vorschubrichtung (Bild 1.34).

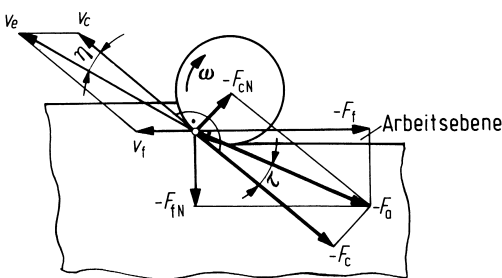


Bild 1.34 Komponenten der Aktivkraft beim Umfangsfräsen im Gegenlauf ( $\varphi < 90^\circ$ ) (in Anlehnung an DIN 6584)

**Mathematische Zusammenhänge**

Aus den Kräftezerlegungsmöglichkeiten – wie vorstehend geschildert – ergeben sich verschiedene mathematische Zusammenhänge.

1. Aktivkraft  $F_a$  und Passivkraft  $F_p$

$$F = \sqrt{F_a^2 + F_p^2} \quad (1.28)$$

2. Wirkkraft  $F_c$  und Wirknormalkraft  $F_{cN}$

$$F_a = \sqrt{F_c^2 + F_{cN}^2} \quad (1.29)$$

3. Schnittkraft  $F_c$  und Schnittnormalkraft  $F_{cN}$

$$F_a = \sqrt{F_c^2 + F_{cN}^2} \quad (1.30)$$

4. Vorschubkraft  $F_f$  und Vorschubnormalkraft  $F_{fN}$

$$F_a = \sqrt{F_f^2 + F_{fN}^2} \quad (1.31)$$

5. Wirkkraft  $F_c$  und Aktivkraft  $F_a$

$$\frac{F_c}{F_a} = \cos \delta \quad (1.32)$$

Der Wirkkraftwinkel  $\delta$  ist der Winkel zwischen den Richtungen der Wirkkraft  $F_c$  und der Aktivkraft  $F_a$  siehe Bild 1.35.

6. Schnittkraft  $F_c$  und Aktivkraft  $F_a$

$$\frac{F_c}{F_a} = \cos \tau \quad (1.33)$$

Der Schnittkraftwinkel  $\tau$  ist der Winkel zwischen den Richtungen der Schnittkraft  $F_c$  und der Aktivkraft  $F_a$ . Es ist  $\tau = \delta + \eta$ , siehe Bilder 1.32 und 1.35.

### 1.1.3.2 Energie und Arbeit beim Spanen

Die zum Spanen benötigte Energie bzw. Arbeit ergibt sich als Produkt aus den zurückgelegten oder zurückzulegenden Wegen und den in ihrer Richtung wirkenden Komponenten der Zerspankraft  $F$ .

#### Wirkenergie $E_e$ und Wirkarbeit $W_e$

Die Wirkenergie  $E_e$  bzw. Wirkarbeit  $W_e$  ist das Produkt aus Wirkweg  $l_e$  und Wirkkraft  $F_e$ .

$$E_e = W_e = l_e F_e \quad (1.34)$$

#### Schnittenergie $E_c$ und Schnittarbeit $W_c$

Die Schnittenergie  $E_c$  bzw. Schnittarbeit  $W_c$  ist das Produkt aus Schnittweg  $l_c$  und Schnittkraft  $F_c$ .

$$E_c = W_c = l_c F_c \quad (1.35)$$